

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pěničková** Jméno: **Martina** Osobní číslo: **458743**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Management a ekonomika ve stavebnictví**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Ochrana staveb proti nepříznivým účinkům hluku a vibracím

Název bakalářské práce anglicky:

Protection of buildings against the adverse effects of noise and vibrations

Pokyny pro vypracování:

Požadavky na stavby z pohledu nařízení vlády o ochraně zdraví
Používané materiály
Technologie výstavby
Vliv na cenu stavby

Seznam doporučené literatury:

272/2011 Sb. - Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
Schneiderová Heralová, R. a kol.: Kalkulace nákladů ve stavebnictví. 1. vyd. Praha: Česká technika- nakladatelství ČVUT, 2017. 144 s. ISBN 978-80-01-06348-4
Schneiderová Heralová, R. a kol.: Ekonomika výstavbových projektů. 1. vyd. Praha: Powerprint, ČVUT, 2018, ISBN 978-80-7568-130-0
NĚMEC, Jaroslav, Jiří RANSDORF a Milan ŠNĚDRLE. Hluk a jeho snižování v technické praxi. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970. Řada strojírenské literatury.
SMETANA, Ctirad. Hluk a vibrace: měření a hodnocení. Praha: Sdělovací technika, 1998. ISBN 80-901936-2-5.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Lucie Brožová, Ph.D., katedra ekonomiky a řízení stavebnictví FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **27.02.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Lucie Brožová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studentky

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví

Bakalářská práce

**Ochrana staveb proti nepříznivým účinkům
hluku a vibracím**

**Protection of buildings against the adverse effects of
noise and vibrations.**

Vypracovala: Martina Pěničková

Vedoucí práce: Ing. Lucie Brožová, Ph.D.

Rok konání SZZ: 2019

Anotace

Předmětem bakalářské práce „Ochrana staveb proti nepříznivým účinkům hluku a vibracím“ je vysvětlení podstaty hluku a vibrací, jejich vlivu na lidský organismus a shrnutí problematiky nepříznivého hluku a vibrací působící na objekt s popsányými možnostmi ochrany objektu. Součástí práce je reálný postup při zajištění ochrany konkrétního objektu, od identifikace rizika až po návrh ochrany a ocenění nákladů na opatření proti hluku a vibracím při výstavbě objektu.

Klíčová slova

- Zvuk
- Hluk
- Vibrace
- Vibroizolace
- Ochrana proti hluku
- Ochrana proti vibracím

Annotation

The subject of the bachelor thesis „Protection of buildings against the adverse effects of noise and vibrations“ is to explain the nature of noise and vibrations, their influence on human organism and summarize the issue of unfavorable noise and vibration acting on the object with described possibilities of object protection. Part of the thesis is a real procedure to ensure the protection of a particular object, from risk identification to protection design and calculation of costs of measures against noise and vibration during building construction.

Keywords

- Sound
- Noise
- Vibrations
- Vibration isolation
- Noise protection
- Vibration protection

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Ochrana staveb proti nepříznivým účinkům hluku a vibrací“ jsem vypracovala samostatně, pouze pod vedením vedoucí bakalářské práce Ing. Lucie Brožové, Ph.D.

Dále prohlašuji, že jsem pro vypracování této práce čerpala pouze ze zdrojů uvedených v seznamu použité literatury a v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Souhlasím s užíváním této práce ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne 27.05.2019

.....

Martina Pěničková

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala Ing. Lucii Brožové, Ph.D. za odborné vedení, za její čas, cenné rady a možnost častých osobních konzultací, které mi pomohly tuto práci dokončit. Dále mé poděkování patří stavební společnosti Metrostav a.s. za poskytnutí podkladů pro praktickou část této bakalářské práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat mé rodině a blízkým za jejich podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

Úvod.....	9
Rešerše literatury.....	10
Teoretická část.....	11
1 Charakteristika hluku a vibrací	11
1.1 Podstata zvuku a vibrací	11
1.2 Vnímání zvuku a definování hluku	11
1.3 Definování vibrace	13
2 Jednotka decibel.....	16
3 Zdroje hluku a vibrací.....	17
3.1 Zdroje hluku	17
3.2 Zdroje vibrací	19
4 Vliv vibrací a hluku na lidský organismus	21
4.1 Vliv hluku	21
4.2 Vliv vibrací	22
5 Limity hluku a vibrací na budovu z právního hlediska.....	23
5.1 § 11 - Hygienické limity hluku v chráněných vnitřních prostorech staveb.....	23
5.2 §18 - § 19 hygienické limity vibrací.....	25
5.3 § 20 - § 21 způsob měření a hodnocení hluku a vibrací	27
6 Měření hluku a vibrací	29
7 Ochrana budov před nepříznivými vlivy hluku a vibrací	30
7.1 Opatření proti hluku.....	30
7.2 Opatření proti vibracím	37
Praktická část.....	41
8 Seznámení s objektem.....	41
8.1 Funkční využití budovy	42
8.2 Konstrukce budovy.....	43
8.3 Okolí objektu	45
9 Problematika hluku a vibrací působící na budovu	46
9.1 Ohrožení hlukem	46
9.2 Ohrožení vibracemi	49

10	Opatření proti vnějšímu hluku	53
10.1	Požadavky na obvodové konstrukce.....	53
10.2	Posouzení navržených obvodových konstrukcí.....	57
11	Opatření proti vlivům vibrací.....	62
11.1	Návrh vibroizolace	62
11.2	Zhodnocení	68
12	Ocenění ochranných prvků	69
12.1	Náklady na stavbu včetně ochranných prvků	69
12.2	Náklady na opatření proti hluku	71
12.3	Náklady na opatření proti vibracím	72
12.4	Náklad na stavbu bez ochranných prvků	73
12.5	Zhodnocení	75
	Závěr.....	76
	Seznam tabulek	77
	Seznam grafů.....	77
	Seznam obrázků	77
	Použitá literatura	79

Úvod

Vliv hluku a vibrací vnímáme v moderní době čím dál intenzivněji, ve městech se těmto nepříznivým účinkům není možné vyhnout. A proto je vhodné, se před nimi chránit, alespoň v interiéru budov, kde trávíme většinu svého života.

Bakalářská práce je rozdělena do dvou hlavních částí - do části teoretické a části praktické.

Náplní teoretické části práce je vysvětlení fyzikální podstaty vibrace a zvuku. Definování, kdy zvuk je vnímán jako hluk a při jaké hladině jsou zaznamenatelné vibrace pro člověka. Stanovení měřitelnosti hluku a vibrací, včetně krátkého seznámení s jednotkou decibel, používanou u obou veličin. Důležitou částí je představení zdrojů hluku a vibrací, určení nejvýznamnějších zdrojů, před jejichž vlivy jsou dále v praktické části aplikována ochranná opatření. Je pojednáváno o vnímání hluku a vibrací člověkem a o jejich následcích na lidský organismus. Dále je věnována kapitola pohledu na problém z právního hlediska, kde jsou dle nařízení vlády popsány limity hluku a vibrací, také pravidla pro jejich měření a vyhodnocení výsledků. V návaznosti na nařízení vlády jsou popsány zákonitosti a podmínky měření hluku a vibrací. Na konci teoretické části je vylíčeno ústřední téma této bakalářské práce, a to Ochrana budov před nepříznivými vlivy hluku a vibrací. V kapitole je popsáno základní dělení a následně dílčí dělení obou vlivů a zmíněna možná řešení s uvedenými konkrétními příklady materiálů pro realizaci opatření.

V praktické části je na vhodně zvoleném objektu nastíněna problematika působení hluku a vibrací, zejména od přílehlé pozemní a podzemní dopravy. Součástí praktické části je postup měření hluku a vibrací a vyhodnocení hodnot, které budou působit na budoucí objekt. Na základě naměřených hodnot byla navržena a posouzena ochranná opatření objektu. A následně oceněny vynaložené náklady na ochranu objektu před nepříznivými vlivy hluku a vibracím.

Cílem bakalářské práce je shrnutí problematiky nadměrného hluku a vibrací působící na objekt a potažmo i na jedince. Včetně reálného postupu při zajištění ochrany konkrétního objektu, od identifikace rizika až po návrh ochrany, s hlavním cílem této práce ocenění vynaložených nákladů na opatření proti hluku a vibracím.

Rešerše literatury

Kdo zkoumal popisovaný problém

- Ing. Bc. Jaroslav Vychytil, Ph.D.
- Doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D.
- Doc. RNDr. Marie Vaňková, CSc.
- Doc. RNDr. Miroslav Doložílek, CSc.
- MUDR. Zdeňka Vandasová
- Ing. Zdeněk Jandák, CSc.

Objevené zdroje, jejich obsah a organizace

Atelier DEK – Znalecký ústav, Akreditovaná zkušební laboratoř (internetový zdroj)

Pešta a Zwiener zde pojednává o změnách Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací po roce 2012 do současnosti.

Hluk a vibrace, Měření a hodnocení – (odborná kniha)

Smetana zde pojednává o podstatě zvuku a vibrací, zdrojích a způsobu měření těchto veličin. O vnímání hluků a vibrací.

Akustika stavebních objektů – (odborná kniha)

Kaňka zde pojednává o prostorové akustice, urbanistické akustice, dále o řešení problému hluku pomocí konstrukcí na pohlcování zvuku.

Kritické zhodnocení zdrojů

Podle mého subjektivního zhodnocení, jsou uvedené zdroje věrohodné a v bakalářské práci z nich čerpám.

Teoretická část

1 Charakteristika hluku a vibrací

1.1 Podstata zvuku a vibrací

Pro pochopení pojmu hluk je nejdříve potřeba vysvětlit, co je zvuk. Jak vibrace, tak zvuk je šíření vlnění, uvažující prostředí stlačitelné nebo pružné, složené z hmotnostních částíček. Vlnění se šíří od zdroje ve vlnoplochách. Vlnoplochy jsou chápány jako množiny bodů v prostoru o libovolném tvaru, které kmitají při vlnění v daném okamžiku se stejnou fází. Fázová rychlost vlnění je závislá na fyzikálních vlastnostech prostředí. Prostředí, které přenáší vlnění není v pohybu, pouze jeho částice kmitají kolem rovnovážných poloh a fázovou rychlostí se tak šíří od zdroje. (Vaňková, 1995, s. 9;51)

Slyšitelné neboli akustické kmitání je vlnění v plynném nebo kapalném prostředí. V běžném životě jsou vnímána jako zvuk. Vlnění v pevných látkách je označováno jako mechanické, pocítujeme ho jako vibrace. (Smetana, 1998, s. 21)

1.2 Vnímání zvuku a definování hluku

Lidské ucho vnímá zvuk, leží-li kmitočet zvuku od 16 Hz do 20 kHz. Spolehlivý sluchový vjem vzniká až při 32 Hz, však frekvenční oblast lidské řeči se pohybuje kolem 1 kHz. Nepříjemné a rušivé zvuky jsou označovány jako hluk, většinou se jedná o směs zvuků o různých kmitočtech, ale i čistý tón je možné vnímat jako hluk. (Vaňková, 1995, s.9;51)

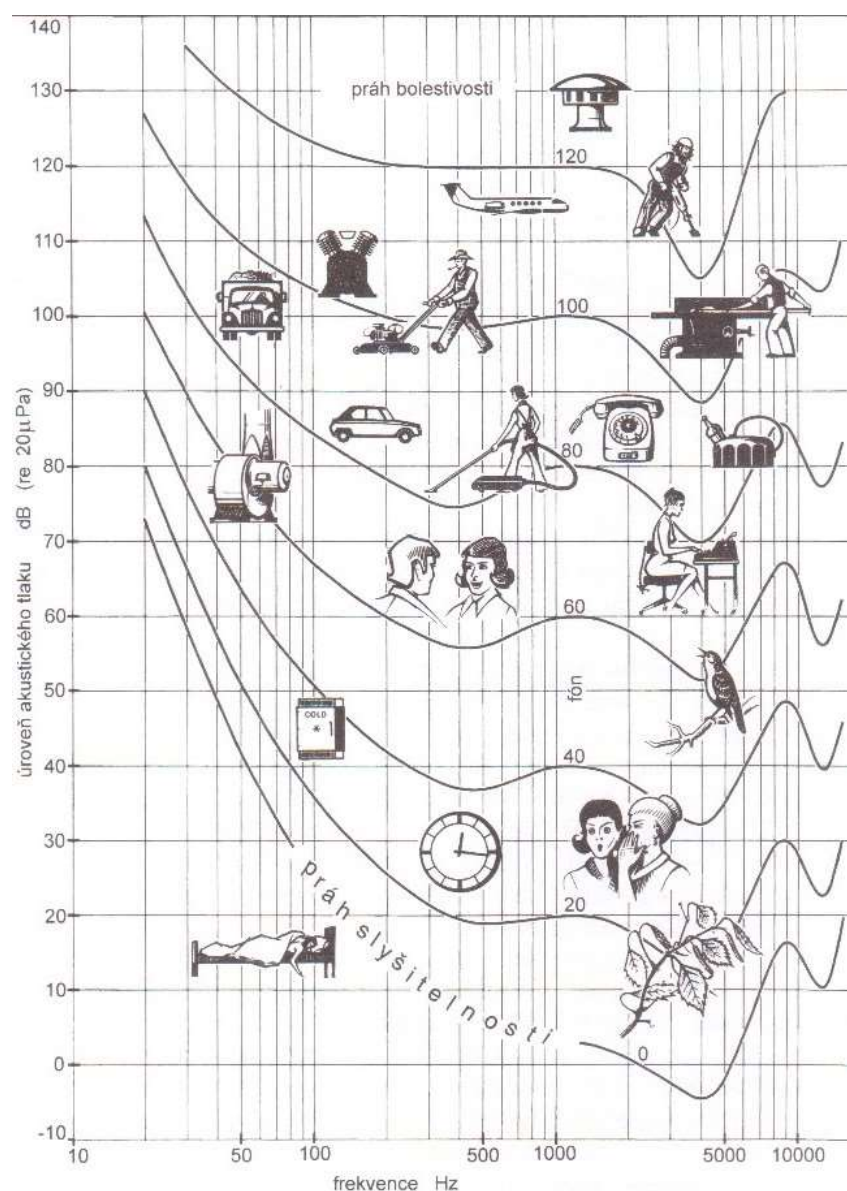
1.2.1 Normalizování hlasitosti

V praxi lidé pro posouzení hluku nevnímají pouze čistotu tónu, ale především hlasitost zvuku. A proto bylo potřeba úroveň hluku přesně definovat. Však z technického hlediska je sluchový orgán nemožný přístroj, rozsáhlý počet měnicích se nelinearit, nepřesností, chyb při své činnosti, takový přístroj v technické praxi lze jen těžko najít. Na základě těchto složitostí a specifíků sluchového orgánu vzniklo nepřeberné množství metod měření a metodik vyhodnocování, jak normalizovaných, tak i návrhových. Pro rozklíčování těchto vlastností bylo potřeba veškeré zvuky statisticky zjistit a normalizovat a výsledkem jsou tzv. křivky hladin stejné hlasitosti viz Obrázek č. 1. Prahová křivka slyšitelnosti je nejnižší křivka

s hodnotou 0 dB a odpovídá přibližně těm nejslabším zvukům ještě postřehnutelným sluchovým orgánem. K nejvyšším hladinám patří křivka s hodnotou 125 dB, a to už hovoříme o prahu bolestivosti, kdy na poslech takového hluku tělo reaguje pocitem bolesti.

Normalizované křivky stejné hlasitosti odpovídají průměrnému posluchači ve věku od 18 do 25 let s předpokladem zdravého sluchového orgánu, při poslechu oběma ušima ve volně se šířících zvukových vlnách. (Smetana, 1998, s. 51)

Obrázek 1: Křivky hladin stejné hlasitosti



Zdroj: Hluk a vibrace, Měření a hodnocení, autor Smetana; Obr. 29

1.3 Definování vibrace

Jak bylo již řečeno, chvění v konstrukci jsou jen zvukové vlny probíhající tuhým tělesem a jsou nazývány mechanickým kmitáním. Pohybující se v rozsahu slyšitelnosti kmitočtů. Takto lze odlišit kmity, které řešíme z hlediska akustických problémů, od pojmů využívaných v technické praxi jako je vibrace, otřesy. (Němec; 1970, s. 59)

Možností, jak vyjádřit hodnoty určující veličiny vibrací je v praxi mnoho, lze je určit zrychlením v m/s^2 , rychlostí v m/s , silou v Newtonech a v dalších. Dříve byly vibrace charakterizovány kmitavým pohybem. Dnes již víme, že kmitání doprovází i působení dynamické síly, které je obtížné spolehlivě změřit. Dynamické veličiny (síla a rychlost) se vzájemně ovlivňují. Na vnímání vibrací má vliv i povaha expozice ve smyslu např. síly stisku ruky rukojetě. Pokud bude vyšší přitlačná síla, sníží se rychlost vibrací na rukojeti, ale zároveň dojde k výraznému zvýšení působení mechanických sil a vyššímu přenosu energie, tím následně výraznějšímu zatížení lidského organismu. Vědomě se tedy při určování hladiny vibrací dopouštíme chyb. Přesto z důvodu zjednodušení a jasného vyjadřování se i v oboru vibrací pracuje s hladinovým vyjádřením v jednotkách dB. Pro představu a možnost převodů mezi hladinovým vyjádřením veličin popisujících vibrace, je k dispozici Obrázek č. 2: Přepočty hladin zrychlení, rychlosti a síly vibrací. (Smetana, 1998, s. 47;49)

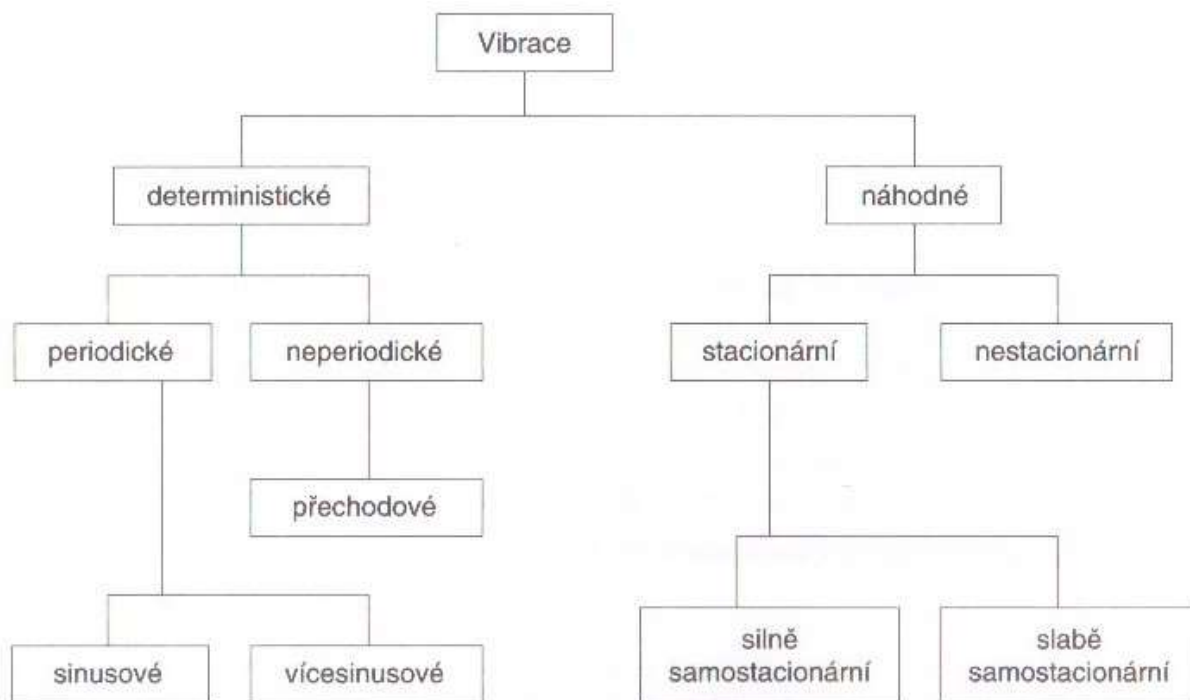
Obrázek 2: Přepočty hladin zrychlení, rychlosti a síly vibrací

Hladina L_a, L_v, L_F [dB]	Zrychlení a [m/s ²]	Rychlost v [m/s]	Síla F [N]
0	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-9}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
10	$3,16 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-9}$	$3,16 \cdot 10^{-6}$
20	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$
30	$3,16 \cdot 10^{-5}$	$3,16 \cdot 10^{-8}$	$3,16 \cdot 10^{-5}$
40	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$
50	$3,16 \cdot 10^{-4}$	$3,16 \cdot 10^{-7}$	$3,16 \cdot 10^{-4}$
60	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$
70	$3,16 \cdot 10^{-3}$	$3,16 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-3}$
80	0,01	$1,00 \cdot 10^{-5}$	0,01
90	0,0316	$3,16 \cdot 10^{-5}$	0,03162
100	0,1	$1,00 \cdot 10^{-4}$	0,1
101	0,112	$1,12 \cdot 10^{-4}$	0,112
102	0,126	$1,26 \cdot 10^{-4}$	0,126
103	0,141	$1,41 \cdot 10^{-4}$	0,141
104	0,158	$1,58 \cdot 10^{-4}$	0,158
105	0,178	$1,78 \cdot 10^{-4}$	0,178
106	0,200	$2,10 \cdot 10^{-4}$	0,2
107	0,224	$2,24 \cdot 10^{-4}$	0,224
108	0,251	$2,51 \cdot 10^{-4}$	0,251
109	0,282	$2,82 \cdot 10^{-4}$	0,282
110	0,316	$3,16 \cdot 10^{-4}$	0,316
111	0,355	$3,55 \cdot 10^{-4}$	0,355
112	0,398	$3,98 \cdot 10^{-4}$	0,398
113	0,447	$4,47 \cdot 10^{-4}$	0,447
114	0,501	$5,01 \cdot 10^{-4}$	0,501
115	0,562	$5,62 \cdot 10^{-4}$	0,562
116	0,631	$6,31 \cdot 10^{-4}$	0,631
117	0,707	$7,07 \cdot 10^{-4}$	0,707
118	0,794	$7,94 \cdot 10^{-4}$	0,794
119	0,891	$8,91 \cdot 10^{-4}$	0,891
120	1	$1,00 \cdot 10^{-3}$	1
130	3,162	$3,16 \cdot 10^{-3}$	3,162
140	10	$1,00 \cdot 10^{-2}$	10
150	31,6	$3,16 \cdot 10^{-2}$	31,6
160	100	0,1	100

Zdroj: Hluk a vibrace, Měření a hodnocení, autor Smetana; Tab. 9

Rozeznáváme dvě hlavní skupiny vibrací z hlediska časového průběhu viz Obrázek č. 3: Rozdělení vibrací dle časového průběhu. U deterministické vibrace je okamžitá hodnota vibrací v určitém čase vyjádřena přesně jejím časovým průběhem, který byl zjištěn již dříve, než daný časový okamžik nastal. Však náhodnou vibraci, jak už napovídá název, není možné v daném čase určit z jejích časových průběhů. Charakteristickou skupinou kmitání, nepatřící ani do jedné ze skupin, jsou mechanické rázy, vyznačují se náhlou změnou síly, polohy, rychlosti nebo zrychlení. U vnímání na člověka mluvíme spíše o otřesech lidského organismu. (Smetana, 1998, s. 46)

Obrázek 3: Rozdělení vibrací dle časového průběhu



Zdroj: Hluk a vibrace, Měření a hodnocení, autor Smetana; Tab. 8

2 Jednotka decibel

Jedná se o bezrozměrnou jednotku zlogaritmovaného poměru dvou hodnot. Základní jednotka je bel, pojmenovaná po vynálezci telefonu Alexandru Grahamu Bellovi. Tedy decibel je desetina jednotky bel. Jednotka vznikla z důvodu snahy zpřesnit výpočty. Podle zákona Webera-Fechnera je prokazatelná logaritmická závislost mezi naměřenými akustickými veličinami a subjektivním vnímáním člověka. Pokud tedy zdvojnásobím původní hodnotu intenzity zvuku posuzovaného zvukového signálu, intenzita zvuku v decibelech vnímaná člověkem se nikoli rovněž nezvýší o polovinu, ale pouze o logaritmický poměr. (Smetana, 1998, s. 48-49)

3 Zdroje hluku a vibrací

Z technického pohledu lze zdroje hluku a vibrací rozdělit na dvě základní skupiny, a to mobilní a stacionární. Konkrétně takto:

Hluk z mobilních zdrojů (dopravy):

- pozemní (silniční a železniční)
- letecká
- vodní
- podzemní

Hluk stacionárních zdrojů:

- technické zdroje
- náhodné zdroje (Smetana, 1998, s. 114)

3.1 Zdroje hluku

Pokud řešíme problematiku hluku z pohledu vlivu na budovu a následné ovlivňování zdraví na lidský organismus, je vhodnější rozdělení hlavních zdrojů hluku tímto způsobem:

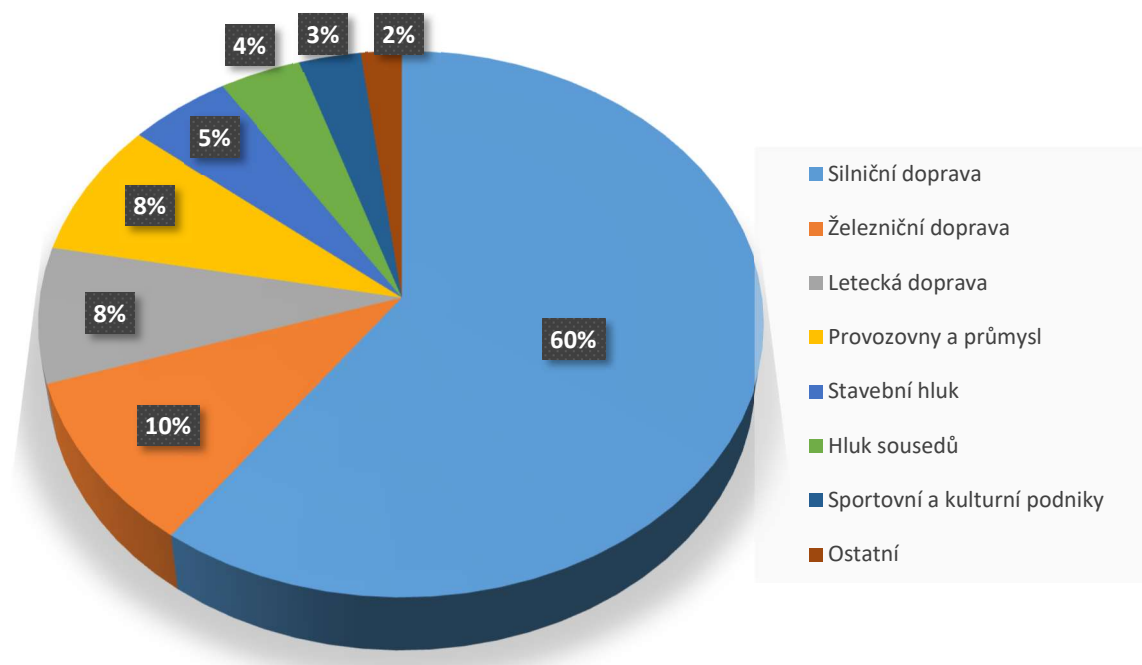
- dopravní hluk - automobilová, kolejová, letecká atd.
- hluk v pracovním prostředí – ruční mechanické nářadí např.: motorová pila
- hluk související s bydlením – vestavěné technické vybavení domu (výtahy, kotelny atd.), sanitárně-technické vybavení domu (sprchy, toalety apod.), činnosti osob v bytě (myčka, vysávání, rozhovor, televizor apod.)
- hluk související s trávením volného času – kulturní a společenské zařízení (poutě, kina apod.), sportovní zařízení (střelnice, hřiště atd.), individuální reprodukce a poslech hudby (přehrávače s reproduktory apod.).

Zatížení lidského organismu hlukem je způsobeno z 40 % z pracovního prostředí a z 60 % z mimopracovního prostředí. Do mimopracovních zdrojů zařazujeme i dopravní hluk, který je ve městech nejčtenější a tvoří 75-85 % působících hluků na populaci. Na hlavních dopravních tazích dosahuje hladin 70-85 dB. Přesto stížnosti od obyvatelů domu jsou většinou směřovány na vnitřní zdroje hluku jako např.: výtahy, větrání apod. a na hluk přicházející od sousedních obyvatelů tzv. „sousedský hluk“ (hlasité projevy osob, provoz koupelen, hudba přes reproduktory apod.), přesto objektivně je podíl hluku přicházející z vnějších zdrojů nejzávažnější. Komplikovanější je řešení hluku v pracovním prostředí, kde jsou některé technologie či stroje vysoce hlučné, ale pro výrobu jsou nepostradatelné. (Vandasová, 2007)

3.1.1 Dopravní hluk

Jak je výše zmíněno, dopravní hluk je v problematice působení hluku na populaci nejvýznamnějším, a to zejména ve velkých městech. V obcích a městech na území České republiky pochází přibližně 60 % hluku z automobilové dopravy. Nadměrným dopravním hlukem je ovlivňována většina obyvatel měst a obcí. Působení hluku je v některých oblastech nepřetržitě, osoby jeho šíření většinou nemají možnost ovlivnit a vyhnout se mu mohou takřka minimálně. Hluk vyvolávající dopravní prostředky po vozovce je složen ze tří faktorů. První faktor je hluk aerodynamický, který je způsoben vozidlem rozrážející vzduch. Druhým faktorem je hluk vytvářený motorem silničního prostředku. A posledním faktorem je hluk vzniklý třením mezi pneumatikou a vozovkou. Celkový hluk se snižuje a zvyšuje závisle na rychlosti silničního vozidla, však není to tak u jednotlivých faktorů. Aerodynamický hluk úměrně roste s rychlostí dopravního prostředku. Hluk od tření pneumatik je významný především u vyšších rychlostí. Největším problémem je hluk způsobený motorem vozidla, protože jako jediný faktor obtěžuje i při nižších rychlostech. Rychlost kdy hlavním rušivým faktorem je motor, u automobilů je do 30 km/h a u nákladních automobilů je to do 50 km/h. (Bernard, 2008, str. 16)

Graf 1: Rozložení zdrojů zvuku z venkovního prostoru



Zdroj: Vlastní podle Stavební fyzika 3 – Akustika pozemních staveb, autor Kaňka, obr.9.1

3.2 Zdroje vibrací

Z pohledu působení na budovu se mohou vibrace rozdělit obdobným způsobem jako hluk:

- vibrace od dopravy – automobilová, kolejová, letecká atd.
- vibrace v pracovním prostředí – ruční mechanické nářadí např.: vibrační pěchy, mechanické vrtáky apod.
- vibrace související s bydlením – vestavěné technické vybavení domu (výtahy, kotelny atd.), činnosti osob v bytě (myčka, pračka apod.)
- vibrace související s trávením volného času – kulturní a společenské zařízení (poutě, koncerty apod.), individuální reprodukce a poslech hudby (přehrávače s reproduktory apod.).

3.2.1 Vibrace způsobené dopravou

Dynamické účinky pohybu vozidel ať po pozemních či podzemních komunikacích je zdrojem vibrací, působící na budovu, které se šíří podložím do základů budov a dále do konstrukce. Tento druh vibrací nazýváme jako seismicita od povrchové nebo podpovrchové dopravy. Není neobvyklé u běžně se vyskytujících budov, že přenos vibrací do konstrukce od dopravy je zjednodušen bezprostředním kontaktem konstrukce vozovky nebo tunelové roury se základy budovy a tím i navazujícími stěnami budovy. Kontaktu zdroje s ohroženou konstrukcí budovy může také napomoci vysoká hladina spodní vody, promrzlé vrstvy terénu v zimním období, propojení základů ohrožené konstrukce i tunelové konstrukce se skalním podkladem, nepoužívané starší základy nebo jiné stavby v podloží, potrubní soustavy v podloží, případně skalní podklad v malých hloubkách pod povrchem terénu. Charakter vibrací od dopravy ovlivňuje zejména váha vozidla, rychlost a způsob jízdy vozidla, na směru pohybu vozidla (pro přímce nebo oblouku, po rovině nebo ve svahu), na brždění a zrychlení vozidla. Neopomenutelným faktorem ovlivňující podstatu vibrací je rovinatost jízdní dráhy, ať se jedná o kvalitu povrchu silniční vozovky nebo směrové a výškové vyrovnaní kolejové dráhy, druhu upevnění kolejnic, skladba podkladních vrstev vozovky apod. Ovlivňujícím parametrem vibrace není pouze charakter zdroje, ale velikost vibrací výrazně ovlivňuje i druh prostředí ve kterém se vibrace šíří od zdroje ke konstrukci budovy, zvláště skladba geologického prostředí a jeho mechanické vlastnosti jako je tuhost, rychlost šíření vlnění, útlum se vzdáleností. V neposlední řadě velikost vibrací z podloží může ovlivnit jak kladně, tak záporně provedení dané konstrukce budovy a způsob provedení jejího založení, a to zvláště frekvenčním naladěním chráněné konstrukce. Frekvenčním naladěním konstrukce

rozumíme uložení ohrožené konstrukce pružně vůči jejímu základu. A v tom spočívá efektivnost odpružení, která umožňuje frekvenční naladění odpružené konstrukce.

(Makovička, 2006)

Obrázek 4: Přenášení vibrací od dopravy



Zdroj: *www. Akustikad.com*, Dostupné z: <https://www.akustikad.com/vibrace-a-strukturalni-hluk/>

4 Vliv vibrací a hluku na lidský organismus

4.1 Vliv hluku

Projevy škodlivých účinků hluku na lidské zdraví vnímáme jako funkční změny organismu, které způsobují zhoršení jeho funkce, ke snížení kompenzační kapacity vůči stresu nebo zvýšení projevů k jiným nepříznivým vlivům prostředí. Následky vlivů hluku je možné zjednodušeně rozdělit na:

- orgánové účinky (specifické a nespecifické) – za specifické účinky považujeme poruchy činnosti sluchového aparátu. U nespecifických účinků je následkem ovlivnění funkcí různých systémů organismu, mnohdy se na nich podílí stresová reakce, ovlivnění spánku a vyšších nervových funkcí jako paměť, učení, řeč atd.

- rušení činností (spánku, osvojování řeči a čtení)
- vlivy na subjektivní pocity (obtěžování).

Studiemi prokázané negativní účinky hluku, působící v denní době na zdravotní stav lidského organismu, jsou poškození sluchového aparátu, vliv na kardiovaskulární systém a negativní vliv na osvojení dovedností řeči a čtení u dětí. A v noční době, tj. v čase spánku a fyziologické regenerace, jsou dokázané účinky hluku na změny fyziologické reakce, poruchy spánku a zvýšené užívání léků na spaní. Do účinků hluku, které nejsou s jistotou potvrzeny, lze zařadit vliv na hormonální a imunitní systém, ovlivnění placenty a vývoje plodu dále lze předpokládat, že má hluk vliv na mentální zdraví, sociální chování, pracovní výkonnost člověka. Hluk v životním prostředí je potřeba posoudit i z hlediska obtěžování, pocitu nespokojenosti, rozmrzelosti a negativního ovlivnění pohody lidí. Pokud za zdraví není považováno pouze absence choroby, ale je chápáno jako celek navzájem ovlivňujících se fyzických, psychických a sociálních aspektů. V současnosti je obtěžování hlukem zařazeno mezi psychosociální účinky hluku, které je potřeba brát s náležitou důležitostí. Protože z tohoto hlediska lze na obtěžování nahlížet jako na stresový zdroj, pokud intenzita, frekvence a doba trvání překročí hranici, kterou už organismus není schopen zvládnout, může vést ke zdravotním komplikacím. (Vandasová, 2014)

4.2 Vliv vibrací

Vystavení osoby intenzivním vibracím vyvolá vždy negativní odezvu lidského organismu. Pokud je na osobu působení vibrací dlouhodobé může dojít k trvalým zdravotním následkům jako je onemocnění cév, nervů, pohybového aparátu a páteře. V současné době je největší zdravotní hrozbou vibrace přenášené na horní končetiny při práci s vibrujícími nástroji a celkové vibrace. S vystavením vibracím přenášeným přímým kontaktem se setkáváme nejčastěji při manipulaci s motorovým nářadím jako např.: křovinořez, vrtačky apod. S rozšiřováním měst se i zvyšuje množství infrastruktury a tím přibývá stížností obyvatel na nadměrné vibrace v budovách z pozemní (železnice, silnice atd.) i podzemních (metro) a průmyslové činnosti v lomech. Člověk vnímá vibrace a rázy soustavou, která má vliv na celkovou psychosomatickou citlivost. Rozsáhlé množství různých receptorů v těle zprostředkovává komplexní fyziologický a psychologický vjem. Vibrace zhoršují schopnost soustředit se na vykonávanou činnost a nepříznivě ovlivňují kvalitu spánku. (Jandák, 2007)

5 Limity hluku a vibrací na budovu z právního hlediska

Jak již bylo výše zmíněno, hluk a vibrace mají nepříznivý vliv na lidský organismus. Vláda vydala nařízení stanovující maximální hladiny hluku a vibrací, pro chráněné venkovní prostory, pro vnitřní prostory jak v pracovním prostředí, tak pro budovy určené pro bydlení také způsob měření a vyhodnocení těchto veličin.

Od 1.11.2011 je v účinnosti předpis č. 272/2011 Sb., Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, který zrušil platnost předpisu č. 148/2006 Sb., Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací s účinností od 1.6.2006. Předpisy se vztahují k zákonu č. 258/2000 Sb., Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Součástí nařízení č. 272/2011 Sb. je novelizace č. 217/2016 Sb. platná od 30.7.2016 a č. 241/2018 Sb. platná od 9.11.2018. Viz Tabulka č. 1. (Poslanecká sněmovna parlamentu ČR, 2019)

Pro potřeby témata bakalářské práce budou řešeny pouze čísla předpisu č. 272/2011 Sb.

Tabulka 1: Vztahy nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Derogace aktivní		
148/2006	ruší	Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
Derogace pasivní		
217/2016	novelizuje	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
241/2018	novelizuje	Nařízení vlády . Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb.
Vztahuje se k		
258/2000	na základě	Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů

Zdroj: Poslanecká sněmovna parlamentu České republiky, Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=272&r=2011>.

5.1 § 11 - Hygienické limity hluku v chráněných vnitřních prostorech staveb

Pro zjištění hygienických limitů hluku pro chráněné vnitřní prostory stavby je potřeba nahlédnout do Části třetí - Hluk v chráněných vnitřních prostorech staveb, v chráněných venkovních prostorech staveb a chráněném venkovním prostoru, konkrétně do části § 11 -

Hygienické limity hluku v chráněných vnitřních prostorech staveb, který předepisuje:

„(1) Určujícími ukazateli hluku jsou ekvivalentní hladina akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}}$ a maximální hladina akustického tlaku $A_{L_{Amax}}$, případně odpovídající hladiny v kmitočtových pásmech. Ekvivalentní hladina akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}}$ se v denní době stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin ($L_{Aeq,8h}$), v noční době pro nejhlučnější 1 hodinu ($L_{Aeq,1h}$). Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích a drahách a pro hluk z leteckého provozu se ekvivalentní hladina akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}}$ stanoví pro celou denní ($L_{Aeq,16h}$) a celou noční dobu ($L_{Aeq,8h}$). V případě hluku z leteckého provozu se hygienický limit v chráněných vnitřních prostorech staveb vztahuje na charakteristický letový den.

(2) Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A se stanoví pro hluk pronikající vzduchem zvenčí a pro hluk ze stavební činnosti uvnitř objektu součtem základní hladiny akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}}$ se rovná 40 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 2 k tomuto nařízení. V případě hluku s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích, drahách a z leteckého provozu, se přičte další korekce -5 dB.

(3) Hygienický limit maximální hladiny akustického tlaku A se stanoví pro hluk šířící se ze zdrojů uvnitř objektu součtem základní maximální hladiny akustického tlaku $A_{L_{Amax}}$ se rovná 40 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného vnitřního prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 2 k tomuto nařízení. V případě hluku s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích, drahách a z leteckého provozu, se přičte další korekce -5 dB. Za hluk ze zdrojů uvnitř objektu, s výjimkou hluku ze stavební činnosti, se pokládá i hluk ze zdrojů umístěných mimo tento objekt, který do tohoto objektu proniká jiným způsobem než vzduchem, zejména konstrukcemi nebo podložími.

(4) Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro hluk ze stavební činnosti uvnitř objektu $L_{Aeq,s}$ se stanoví tak, že se k hygienickému limitu ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A_{L_{Aeq,T}}$ stanovenému podle odstavce 2 přičte v pracovních dnech pro dobu mezi sedmou a dvacátou první hodinou korekce +15 dB.

(5) Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro zvuk elektronicky zesilované hudby se v prostoru pro posluchače stanoví pro dobu T se rovná 4 hodiny hodnotou $L_{Aeq,T}$ se rovná 100 dB.“

V tabulce č. 2 jsou uvedeny korekce z přílohy č. 2 k nařízení č. 272/2011 Sb. a nedílnou součástí přílohy je text: “Pro ostatní druhy chráněného vnitřního prostoru v tabulce jmenovitě

neuvedené se použijí hodnoty pro prostory funkčně obdobné. Účel užívání stavby je u staveb povolených před 1. lednem 2007 dán kolaudačním rozhodnutím, u později povolených staveb oznámením stavebního úřadu nebo kolaudačním souhlasem. Uvedené hygienické limity se nevztahují na hluk způsobený používáním chráněné místnosti.

+) Pro hluk z dopravy v okolí dálnic, silnic I. a II. třídy a místních komunikací I. a II. třídy, kde je hluk z dopravy na těchto komunikacích převažující, v ochranném pásmu drah a pro hluk z tramvajových a trolejbusových drah se přičítá další korekce +5 dB. Tato korekce se nepoužije ve vztahu ke chráněnému vnitřnímu prostoru staveb povolených k užívání k určenému účelu po dni 31. prosince 2005.“

Tabulka 2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněných vnitřním prostoru staveb

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Korekce v dB
Nemocniční pokoje	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	-5
Obytné místnosti	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0 ±)
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-10 ±)
Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu vzdělávání	po dobu používání	+5

Zdroj: CODEXIS, Příloha č. 2, k nařízení č. 272/2011 Sb.

5.2 §18 - § 19 hygienické limity vibrací

Požadované maximální hladiny vibrací v vnitřních prostorech staveb a na pracovištích nám vymezuje Část pátá - Vibrace v chráněných vnitřních prostorech staveb a na pracovištích (§ 18 - § 19), které zní:

„§ 18 (1) Hygienický limit vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb vyjádřený průměrnou váženou a) hladinou zrychlení vibrací $L_{aw,T}$ se rovná 75 dB, nebo

b) hodnotou zrychlení vibrací $a_{ew,T}$ se rovná 0,0056 m/s².

(2) Hygienické limity vibrací uvedené v odstavci 1 v chráněných vnitřních prostorech staveb se vztahují na horizontální a vertikální vibrace v místě pobytu osob a k době trvání vibrací T.

(3) Korekce hygienického limitu podle odstavce 1 jsou v závislosti na typu prostoru, denní době a povaze vibrací upraveny v příloze č. 5 k tomuto nařízení.

§ 19 Při hodnocení vibrací, které pronikají na pracoviště, se při stanovení jejich hygienického limitu a jeho korekcí postupuje podle § 18.“

V tabulce č. 3 jsou uvedeny korekce z přílohy č. 5 k nařízení 272/2011 Sb., součástí přílohy je podmínka: „Maximálně jsou přípustné 3 výskyty otřesů za den“

Tabulka 3: Korekce na využití prostoru ve stavbách a chráněných vnitřním prostoru staveb, denní dobu a povahu vibrací

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba dne	Povaha vibrací			
		Přerušované a nepřerušované vibrace		Opakující se otřesy	
		Korekce			
		[dB]	[-]	[dB]	[-]
1. Operační sály	Denní doba	0	1	0	1
	Noční doba	0	1	0	1
2. Obytné místnosti	Denní doba	6	2	24	16
	Noční doba	3	1,41	3	1,41
3. Nemocniční pokoje	Denní doba	6	2	24	16
	Noční doba	3	1,41	3	1,41
4. Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání	Denní doba	6	2	24	16
	Noční doba	3	1,41	3	1,41
5. Ostatní chráněné vnitřní prostory staveb	Nepřetržitě	12	4	42	128

Zdroj: CODEXIS, Příloha č. 5, k nařízení č. 272/2011 Sb.

5.3 § 20 - § 21 způsob měření a hodnocení hluku a vibrací

Pravidla, jak měřit a následně vyhodnotit hodnoty hluku a vibrací udává Část šestá – způsob měření a hodnocení hluku a vibrací (§ 20 - § 21), která zní:

„§ 20 (1) Při měření hluku a vibrací a při hodnocení hluku a vibrací se postupuje podle metod a terminologie týkajících se oborů elektroakustiky, akustiky a vibrací, obsažených v příslušných českých technických normách. Při jejich dodržení se výsledek považuje za prokázaný.

(2) Pokud nelze postupovat podle odstavce 1, musí být u použité metody doložena její přesnost a reprodukovatelnost.

(3) V chráněném venkovním prostoru staveb se hladiny akustického tlaku stanovují pro dopadající zvukovou vlnu.

(4) Při měření hluku v chráněných venkovních prostorech staveb, chráněném venkovním prostoru a v chráněných vnitřních prostorech staveb se uvádí nejistota, kterou se rozumí rozšířená kombinovaná standardní nejistota měření. Nejistota musí být uplatněna při hodnocení naměřených hodnot. Výsledná hodnota hladiny akustického tlaku nepřekračuje hygienický limit, jestliže výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku po odečtení hodnoty nejistoty je rovna nebo je nižší než hygienický limit nebo výsledná maximální hladina akustického tlaku je rovna nebo je nižší než hygienický limit.

(5) Při posuzování změny hodnot určujícího ukazatele v chráněných venkovních prostorech staveb, chráněném venkovním prostoru a v chráněných vnitřních prostorech staveb, zjištěných výpočtem nebo měřením, nelze považovat za hodnotitelnou změnu jejich rozdíl pohybující se v intervalu od 0,1 do 0,9 dB. Věta první se nepoužije v případě hodnocení naměřené hodnoty určujícího ukazatele hluku vzhledem k hygienickému limitu.

(6) Za prokazatelné navýšení hluku ve smyslu § 77 odst. 5 zákona se považuje navýšení větší než 2 dB ke dni posouzení prokazatelného navýšení hluku oproti naměřeným hodnotám hluku nebo oproti hodnotám hluku vypočteným v akustickém posouzení zdroje hluku předloženém příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví v rámci žádosti o vydání stanoviska podle § 77 odst. 2 a 4 zákona. Akustickým posouzením zdroje hluku podle věty první se rozumí takové posouzení, které je zpracováno na základě údajů o zdroji hluku ne starších 9 měsíců před dnem podání žádosti uvedené ve větě první.

§ 21 Při hodnocení hluku a vibrací na pracovišti a vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb se uplatňuje nejistota, kterou se rozumí rozšířená kombinovaná standardní nejistota

měření. Nejistota musí být uplatněna při hodnocení naměřených hodnot. Výsledná hodnota určující veličiny hluku a vibrací na pracovišti a vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb prokazatelně splňuje hygienický limit, jestliže je po přičtení hodnoty nejistoty nižší než hygienický limit.“

6 Měření hluku a vibrací

Měření hluku a vibrací je obvykle prováděno na vyžádání dotčené hygienické stanice. Kontrolní měření probíhá při kolaudaci objektu. Obvykle specialista určí rozsah prováděného měření na základě získaných požadavků od hygienické stanice. Pro vypracování hlukové studie která určí hlukovou zátěž sledované lokality slouží jako podklad právě měření. Měření je také realizováno na základě stížností obyvatel, kteří mají podezření na přenos nadměrného hluku či vibrací. Výsledky měření lze využít jako podklad pro reklamaci a také pro vznesení návrhu na zamezení nadměrného přenosu hluku či vibrací. (Perša, 2019)

Aby mohl být výsledek měření akceptovatelný a tím reprodukovatelný a průkazný, je nezbytná počáteční rozvaha nad výběrem správného postupu s ohledem na účel měření, zdroj atd. U měření je zapotřebí dbát na příslušná nařízení či normy. Aby bylo měření průkazné je zapotřebí ve vypracované zprávě či protokolu zaznamenat veškeré podmínky měření, způsob snímání signálu, doby měření, jaké hodnoty byly naměřeny a jak byly dále zpracovány. Podle průkaznosti a účelu měření musí být zaznamenána: metoda měření, přístrojová vybavenost, měřené veličiny, způsob měření, umístění měření, druh posuzovaného hluku, rušivé elementy, délka měření, charakter okolí, klimatické podmínky, korekce hodnot, přehledné shrnutí výsledků. U hluku od technického zařízení je potřeba uvést jeho provozní podmínky jako jsou např. otáčky, také jeho upevnění a založení. U dopravního provozu je nezbytné upřesnit hustotu a složení provozu, rychlost prostředků, sklon a povrch komunikace. (Smetana, 1998, s. 106, 107)

7 Ochrana budov před nepříznivými vlivy hluku a vibrací

Opatření proti hluku a vibracím lze rozdělit na dvě skupiny, a to na aktivní a pasivní ochranu. Do aktivní ochrany patří opatření prováděné na zdroji zvuku, resp. vibrace nebo v jeho blízkosti. O pasivní ochranu se jedná, pokud jde o ochranu přímo a pouze ohrožené konstrukce. Pasivní řešení je považováno za krajní řešení, často však jediným možným řešením, zejména v oblastech vysoké koncentrace zástavby a dopravy. (Kaňka, 2015, s. 123) Ale pokud podmínky umožňují aktivní opatření, vždy má přednost. Při volbě řešení je zapotřebí zohlednit i jiná než akustická hlediska, především hlediska provozní, estetická, požární, hlediska zdravotní nezávadnosti a hlediska ekonomického. (Kaňka, 2009, s. 37; 112)

7.1 Opatření proti hluku

V rámci bakalářské práce není řešena ochrana proti hluku, který se vyskytuje v každém objektu, bez ohledu na vnější vlivy, tj. kročejový hluk, hluk přenášený mezi místnostmi, šíření hluku z rozvodů zdravotnické, vzduchotechniky atd. Dále řešená opatření proti hluku jsou se záměrem ochrany budovy před vnějšími zdroji hluku. Nejčastějším vnějším zdrojem hluku je silniční a železniční doprava.

7.1.1 Pasivní opatření proti hluku

Při pasivní ochraně se rezignuje na ochranu venkovního prostoru a ochrana je prováděna v místě příjmu zvuku. Pro vyhovující hladinu hluku alespoň v interiéru docílíme zvýšením neprůzvučnosti obvodového pláště objektu. (Kaňka, 2009, s. 112)

Neprůzvučnost konstrukce lze zvýšit přímo zvoleným materiálem konstrukce, šířkou konstrukce nebo je možné ji doplnit o materiál zvyšující neprůzvučnost.








Při rozšiřování konstrukce zmenšujeme využitelnou plochu objektu a může dojít k předimenzování konstrukce z pohledu statického a tím i k vyšším nákladům oproti variantě doplnění konstrukce o materiál pohlcující nebo odrážející hluk, či zvolení vhodnějšího materiálu.

Výběr materiálů pro zdění s vyšším činitelem pohltivosti je široký. Lze si vybrat z různých materiálů, nejznámější jsou keramické tvárnice, pórobetonové tvárnice, tvarovky z keramického liaporbetonu. Dále se využívají stěny ze sádkartonových, sádrovláknitých desek doplněné o izolaci, ale tyto stěny jsou využívány především v interiéru. Hlavním

důvodem je únosnost a tím nemožnosti být nosným prvkem objektu.

Na Obrázku č. 5 je ukázka zdících prvků pro obvodový plášť z liaporbetonu, na obrázku jsou vidět hodnoty neprůzvučnosti jak akustických tvarovek, tak klasických. V běžné praxi stěny od šířky 200 mm a více doplněné o vrstvu tepelné izolace podmínkám hluku vyhoví bez potřeby použití akustických tvarovek.

Obrázek 5: Ukázka zdících prvků pro obvodové pláště z liaporbetonu

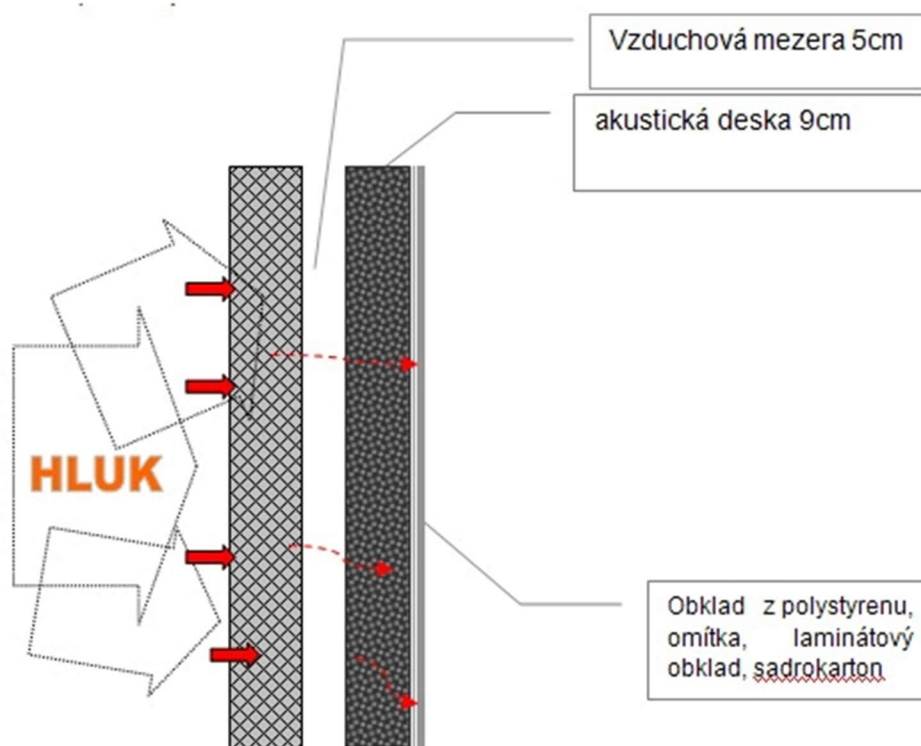
														
	Liapor M 200		Liapor M 240		Liapor M 240 RW		Liapor M 240 PLUS		Liapor M 300		Liapor M 300 RW		Liapor M 365	
	AKU		AKU		AKU		AKU		AKU		AKU		AKU	
Technické listy	Otevřít PDF		Otevřít PDF		Otevřít PDF		Otevřít PDF		Otevřít PDF		Otevřít PDF		Otevřít PDF	
Rozměry L × B × H (mm)	422 × 200 × 240		247 × 240 × 240		247 × 240 × 240		247 × 240 × 240		247 × 300 × 240		247 × 300 × 240		247 × 365 × 240	
Tloušťka stěny bez omítky (mm)	200		240		240		240		300		300		365	
Pevnostní třída tvárnice (MPa)	6	12	2	6	12	12	15	2	6	12	12	2	6	12
Hmotnost tvárnice kg/ks kg/pal. brutto ±10%	18,2 945	25,7 1320	9,5 749	13,5 1049	17,6 1354	19,2 1475	25,5 1948	11,9 749	16,9 1049	21,9 1350	27,1 1650	13,4 638	20,6 963	26,8 1241
Třída objem. hmotnosti tvárnice (kg.m ⁻³)	850	1200	650	925	1200	1400	1760	650	925	1200	1530	650	925	1200
Součinitel prostupu tepla U (W.m ⁻² K ⁻¹)	1,05 ⁽²⁾	1,41 ⁽²⁾	0,6 ⁽²⁾	0,78 ⁽²⁾	1,09 ⁽²⁾	1,25 ⁽²⁾	1,75 ⁽²⁾	0,47 ⁽²⁾	0,62 ⁽²⁾	0,88 ⁽²⁾	1,48 ⁽²⁾	0,37 ⁽²⁾	0,53 ⁽²⁾	0,78 ⁽²⁾
Index vzduchové neprůzvuč. R _w	48	56	51	53	56	57	58	52	54	57	58	54	56	59

Zdroj: Liapor Vintířov, LSM k.s., Dostupné z: <https://www.liapor.cz/produkty/zdivo/nosne-steny/>

Použitím materiálu pohlcující zvuk jako obklad lze zvýšit činitele pohltivosti stropu nebo stěn místnosti. Současná nabídka úprav stropů a stěn pohlcující zvuk je rozsáhlá, jak od zahraničních, tak i tuzemských firem. Důležité zdůraznit je, že obklad zvyšující neprůzvučnost není jen doplňujícím stavebním materiálem, ale je konstrukcí, jejíž vlastnosti ovlivňuje i odsazení obkladu od obkládaného povrchu. (Kaňka, 2009, s. 37)

Při použití vnitřního obkladu je důležité zvážit zmenšení užité plochy místnosti. Na Obrázku č. 6 je ukázka vnitřního obkladu.

Obrázek 6: Ukázka vnitřního obkladu jako pasivní ochrana proti hluku



Zdroj: Abizol corporation s.r.o., Dostupné z: <https://www.akusticka-pena.cz/novinky/odhlucneni-steny-v-praxi/>

7.1.2 Aktivní opatření proti hluku

Akustické opatření prováděné přímo na zdroji zvuku a v jeho blízkosti je zpravidla velice výhodné. Aktivní ochranu proti hluku s vnějším zdrojem, kterým nejčastěji bývá silniční doprava můžeme rozdělit na:

- urbanistická
- technická
- dopravně-organizační a legislativní. (Kaňka, 2009, s. 112)

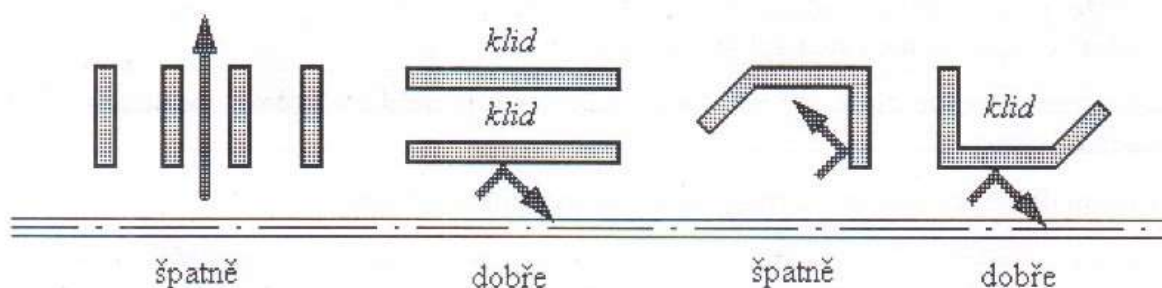
Urbanistická opatření proti hluku

Největší kladení důrazu je na optimalizaci nároků na přepravu a vztahů v zastavěném území a jeho okolí. Také na vhodném umístění jednotlivých objektů a dopravních tahů. Uspořádání na území má být ve vztahu k dopravě řešeno souhrnně. Lze využít tato opatření:

- soustavu komunikací, která zajistí odklonění průjezdné dopravy, především těžkou dopravu mimo obytné zóny a center měst;

- situování rychlostních komunikací a komunikací s intenzivním provozem mimo oblasti vyžadující ochranu a obytné oblasti, nejméně ve vzdálenosti 400 metrů;
- snažit se o slučování silniční dopravy s železniční dopravou do dopravních koridorů, resp. dopravní trasy nerozptylovat do mnoha tras, aby bylo možné efektivně využít protihluková opatření;
- motivovat obyvatele pro upřednostnění MHD před individuálním automobilovým prostředkem. Upřednostnění MHD v dopravě na úkor individuální automobilové dopravy např. vlastní jízdní pruhy ve vytížených úsecích komunikace. Není potřeba linky MHD přivádět do hloubky obytných zón. Za zdravotně přípustnou nejdelší vzdálenost je považováno 400 až 500 metrů chůze. Vhodnější je řidší síť linek (max. 2,2 km/km²) s kratšími časovými intervaly mezi dopravními prostředky. Protože čas strávený cestou na zastávku je považován za efektivnější než čas využitý čekáním na dopravní prostředek;
- zřizování klidových zón, přístupných jen pěším, resp. povolení vjezdu pouze zásobovacím vozům. (Kaňka, 2015, s. 123, 124)

Obrázek 7: Uspořádání zástavby u komunikace s intenzivním provozem



Zdroj: Stavební fyzika 3, Akustika pozemních staveb, autor: Kaňka, Nováček, Obr.9,7

Technická opatření proti hluku

Princip těchto opatření je:

- 1.) technické uspořádání komunikací (sklon trasy, vedení trasy, kryt vozovky);
- 2.) zřizování protihlukových clon,
- 3.) náhradní opatření.

1.) Pokud je trasa komunikace vedena v zářezu svahu, je kompletně níže položený prostor před vlivy hluku relativně dobře chráněn. Naopak je-li komunikace vedena údolím, hluk působí na úbočí a na nechráněný prostor celého údolí. Obdobný efekt zapříčiní umístění trasy

komunikace na násep nebo na eskádu, je možné pomocí nízkých clon na okraji komunikace spolehlivě chránit před hlukem níže položenou zástavbu. Nesmí nastat situace, kdy by samotná konstrukce eskády nebo mostu způsobovala dynamické rázy jedoucích vozidel a tím sama byla zdrojem hluku.

Spolehlivým řešením eliminace hluku je vedení trasy komunikace tunelem. Přesto to není častým řešením, a to zejména z ekonomických důvodů. Je důležité uvažovat s hladinou hluku u ústí portálů tunelu, která je dokonce vyšší než u beztunelového vedení trasy.

Je vhodné nenavrhovat prudké podélné sklony komunikací. Větší stoupání je lepší vést mimo obytné a ochranné zóny. Možné řešení je využití jednosměrných komunikací, výstupní trasu vést v dostatečné vzdálenosti nebo ji krýt protihlukovým opatřením a trasu s klesajícím sklonem zavést v obytné nebo chráněné zóně.

Živičné vozovky jsou z hlediska hlučnosti velmi příznivé. Plynulost jízdy má také kladný vliv na hluk, proto je vhodné koordinovat světelné signalizace na křižovatkách, aby vznikla tzv. zelená vlna.

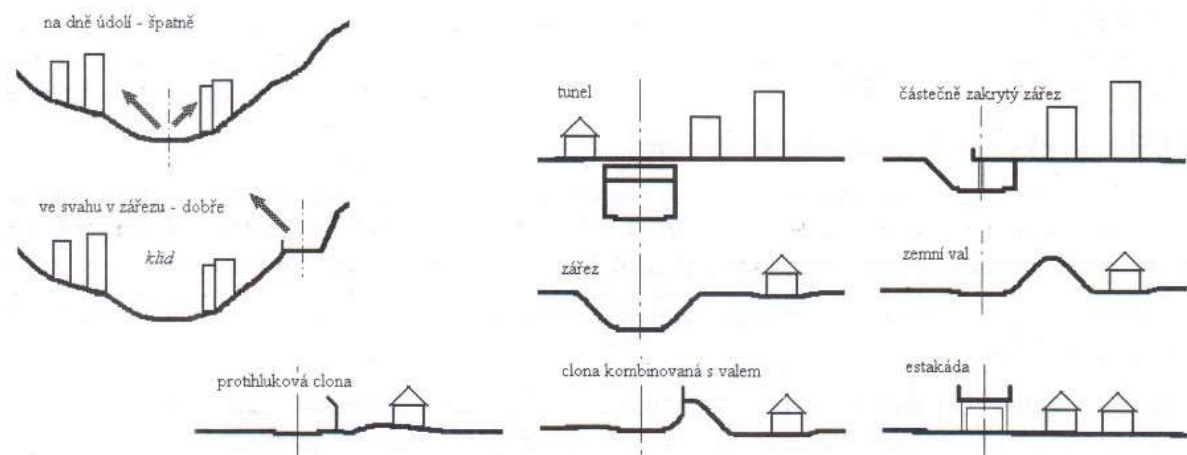
2.) Vedení trasy v zářezu je pro ochranu proti hluku výhodné. Jako tlumící element dobře fungují zemní **valy** nebo **protihlukové clony**. V posledních letech se namísto betonových a železobetonových prefabrikátů používají častěji lehčí přírodní materiály (dřevo). Není-li protihluková clona opatřena povrchem pohlcující zvuk, může dojít k zhoršení hlukové situace, z důvodu odrazu hluku. Pokud jsou clony po obou stranách komunikace musí mít absorpční úpravu povrchů. Protihlukové clony lze nahradit nebo doplnit o zemní valy. Jejich výhody jsou: využití přebytečné zeminy ze stavební činnosti, estetický vjem, nevytváří stíněné plochy na vozovce (v zimním období je za následek náledí) a odpadá problém s odrážením hluku. Nevýhodou zemních valů v porovnání s protihlukovou clonou je především větší plocha záboru území a nemožnost situování tak blízko komunikace jako clony. Tyto nevýhody mohou být z části zvráceny při použití technik pro navýšení strmosti svahu zemního valu, od variant geotextilií až po prefabrikáty se zeminou s osazenou zelení.

Jako ochrana proti hluku může být využita i zástavba situována podél komunikace, která má nižší stupeň ochrany proti hluku (garáže, sklady apod.) nebo je dispoziční uspořádání budovy zvoleno s ohledem na umístění, tj. na hlučnou stranu jsou navrženy komunikační prostory, koupelny apod. A obytné místnosti mají orientovaná okna od komunikace, tzv. bariérové domy.

3.) **Náhradní opatření** se využívají především v existující zástavbě, kde jsou podmínky pro

splnění ochrany před hlukem složitější. V krajním případě je možné změnit účel budovy nebo jejích částí. Pasivní opatření, která byla zmíněna výše také patří k náhradním opatřením. (Kaňka, 2015, s. 124, 125)

Obrázek 8: Vedení komunikace údolím, příklady technických opatření



Zdroj: Zdroj: Stavební fyzika 3, Akustika pozemních staveb, autor: Kaňka, Obr.9.8

Obrázek 9: Dřevěný pohltivý panel



Zdroj: Webové stránky LAND Co. Zlín s.r.o. Dostupné z:
<http://landco.cz/nabidka/protihlukove-steny/dreveny-pohltivy-panel-zl/>

Obrázek 10: Dřevěný odrazivý panel



Zdroj: Webové stránky LAND Co. Zlín s.r.o. Dostupné z:
<http://landco.cz/nabidka/protihlukove-steny/dreveny-odrazivy-panel/>

Na Obrázku č. 10 je odrazivá dřevěná clona, materiál této clony hluk pouze odráží a na Obrázku č. 9 je pohltivá dřevěná clona, která hluk pohlcuje, a proto je vhodná pro realizaci obou stranách komunikace současně.

Dopravně-organizační a legislativní opatření

Snižováním nejvyšší povolené rychlosti lze snížit hluk cca o 1 dB na každých 10 km/h. Při snížení podílu nákladní dopravy v celkovém provozu o každých 10 % bude hluk nižší cca o 2 dB. Dále lze vyhradit vhodné denní doby pro nákladní zásobovací automobily nebo omezenou tonáž. Uplatňují se zákazy parkování těžkých vozidel v obytných zónách nebo zákazy vjezdu. (Kaňka, 2015, s. 125)

7.2 Opatření proti vibracím

Ochrana proti vibracím a strukturálnímu hluku je specifickým odvětvím stavitelství a prozatím ne tak rozšířeným jako jiná odvětví. Podle mých hledání, na Českém trhu není rozšířená nabídka variant řešení problému s vibracemi a strukturálním hlukem. Informace o této problematice jsou velmi omezené, pravděpodobně především protože návrhové projekty na ochranu objektu nebo jeho částí před vibracemi a strukturálním hlukem je prováděno vždy individuálně podle potřeb stavby. Dalším důvodem může být, že opatření proti vibracím je prováděno u malého množství novostaveb.

Ochranu proti každodenním vibracím přenášené přes konstrukci mezi bytovými jednotkami (např. pračka, hudba z reproduktoru apod.) zajišťují ve stavební praxi běžně používané konstrukce zhotovené dle norem. Tyto běžně se vyskytující vibrace od užívání objektu, nejsou součástí této bakalářské práce, v rámci této podkapitoly budou řešeny především ochrany proti vibracím přicházejících od vnějších zdrojů. Zdroji je nejčastěji kolejová doprava, a to jak nadzemní, tak podzemní.

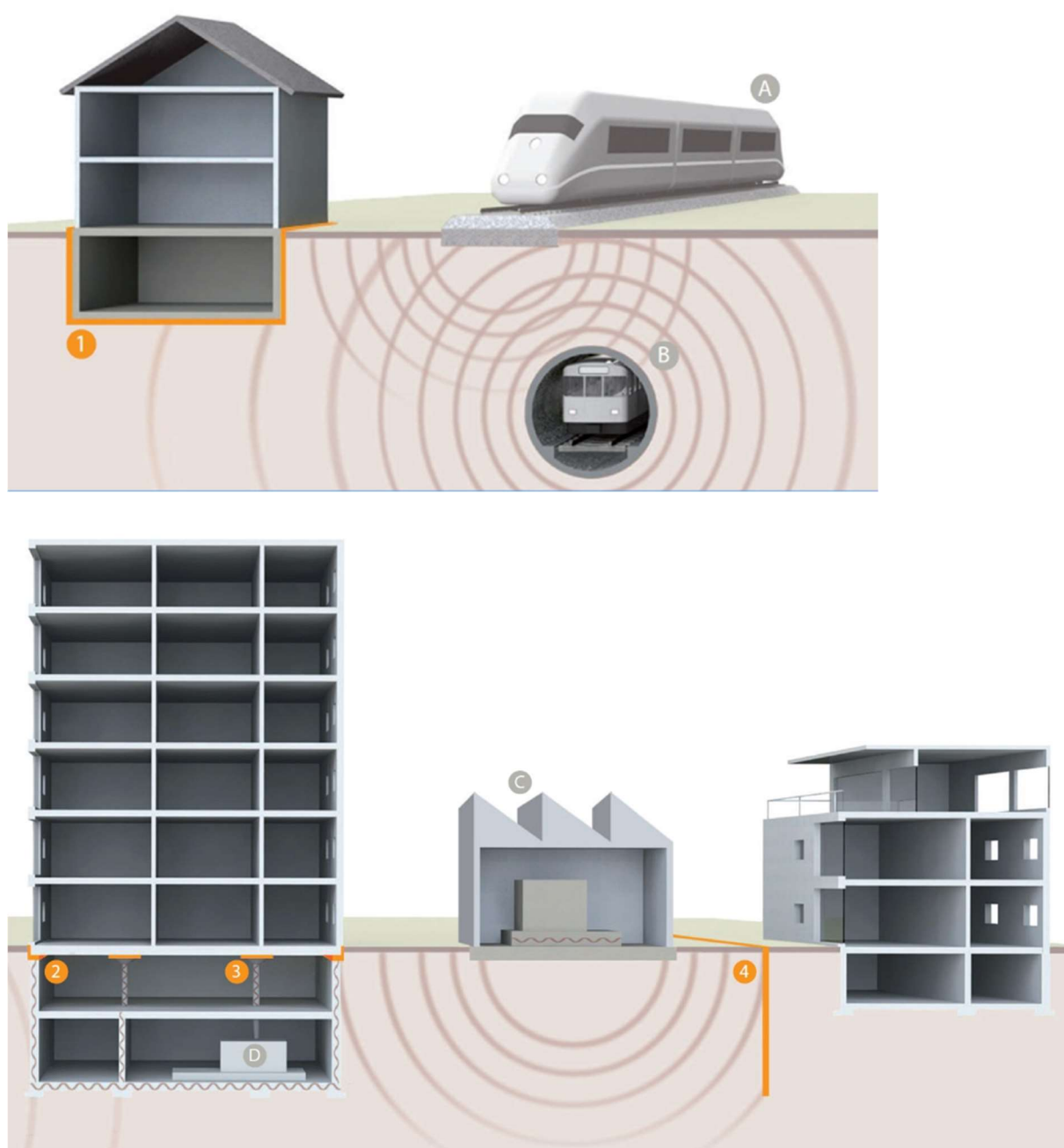
Na obrázku č. 11 jsou vidět možnosti opatření proti vibracím a jejich zdroje. Značení zdrojů v obrázku:

- A – pozemní doprava;
- B – podzemní doprava;
- C – objekt se zdrojem vibrací (továrny, technická zařízení apod.);
- D – technické zařízení v objektu.

Značení typů opatření před vibracemi v obrázku:

- 1 – ochrana celé konstrukce u založení budovy;
- 2 – ochrana části objektu liniově;
- 3 – ochrana části objektu bodově;
- 4 – zamezení šíření vibrací po cestě.

Obrázek 11: Opatření proti vibracím



Zdroj: [www. Akustikad.com](http://www.akustikad.com), Dostupné z: <https://www.akustikad.com/vibrace-a-strukturalni-hluk/>

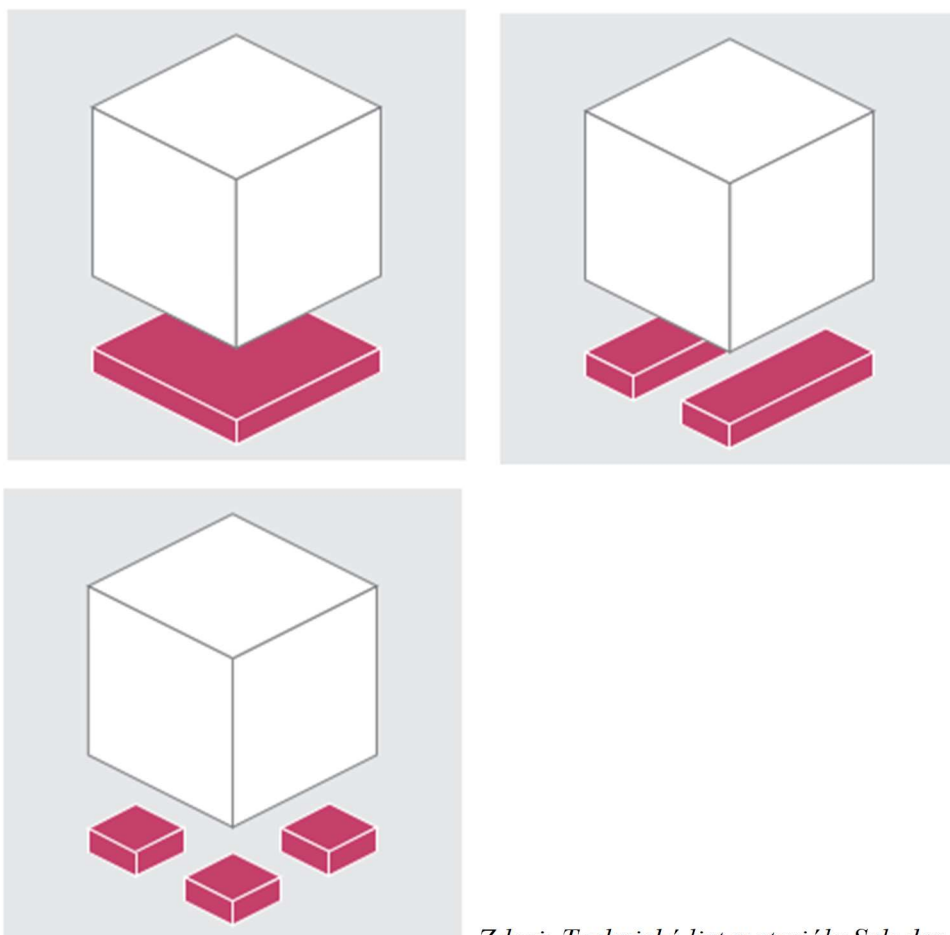
7.2.1 Pasivní opatření proti vibracím

Jak již bylo výše několikrát zmíněno, pasivní opatření je krajním řešením, ale v zastavěných lokalitách často jediným. Do pasivních opatření znázorněných na obrázku č. 11 patří řešení 1.-3. U pasivního opatření proti vibracím zajišťujeme frekvenční naladění konstrukce, to znamená že konstrukci pružně uložíme vůči jejímu základu.

Objekt pomocí vibroizolací lze pružně uložit:

- plošně;
- liniově;
- bodově. (Technický list materiálu Sylodyn NB)

Obrázek 12: Druhy uložení vibroizolací



Zdroj: Technický list materiálu Sylodyn NB

Přesný typ a tloušťka vibroizolací je navrhována vždy dle konkrétního objektu a řešeného problému. Množství a umístění musí být navrženo, aby vlastnosti materiálu byly využity co nejúčinněji. Záměrem návrhu je vždy dosáhnout největší účinnosti, a to co nejmenší tloušťkou materiálu. Používaný materiál je na bázi polyetherurethanu (PUR), který spolehlivě pohlcuje vibrace a strukturální hluk. Jako příklad používaného materiálu v České republice lze uvést akustický materiál Sylomer a Sylodyn od rakouské firmy Getzner Werkstoffe.

(Studio akustika – DEK, s.r.o.)

Nevýhoda pasivního opatření je možnost technologického pochybení pracovníků při pokládání vibroizolací na stavbě, jako jsou úlomky zdiva v prostoru pro vibroizolace, nedodržení kladečského plánu atd.

7.2.2 Aktivní opatření proti vibracím

Aktivní řešení je nejlepší řešení, ale málokdy ho lze využít. Na obrázku č. 11 je znázorněné aktivní opatření číslem 4, a to v podobě pohlcující podzemní stěny. Její šířka a výška záleží na daném řešeném problému, potřebné ochraně a hloubce založení chráněného objektu. Ochranná stěna musí být z pohltivého materiálu, je možné využít zmíněný materiál v předchozí podkapitole Sylodyn nebo Sylomer.

Stejně jako u aktivních opatření proti hluku, lze podloží a části konstrukcí trasy dopravy upravovat a realizovat, aby konstrukce přenášela minimum vibrací do okolního prostředí, také lze vést hlavní trasy dopravy dál od obytných zón.

Jedna z nevýhod aktivního opatření, jak již bylo zmíněno, je že lze zřídka kdy realizovat a další je komplikovaná aplikace takových opatření.

Praktická část

(projektová dokumentace stavby)

8 Seznámení s objektem

Řešený objekt je polyfunkční dům, má 7 nadzemních podlaží o celkové ploše 6 897 m² a 3 podzemní podlaží o celkové ploše 5 117 m². Umístění objektu je v centru Prahy 9, v bezprostřední blízkosti nadzemní i podzemní dopravy.

Zastavěná plocha objektem je 1 975 m². Celkový obestavěný prostor objektu je 47 548 m³.

Obrázek 13: Vizualizace objektu – pohled z ulice Sokolovská



Zdroj: Central Group, Dostupné k 20.04.2019 z: <https://www.central-group.cz/lokalita/166>

8.1 Funkční využití budovy

V sedmi nadzemních podlažích se nachází celkem 113 bytů o dispozicích 1+kk, 2+kk, 3+kk, 4+kk. Celková výměra bytů je 4445 m², součástí některých bytů je lodžie, balkón nebo terasa. V 6. a 7. NP se nachází byty s rozsáhlými terasami, které jsou vytvořeny pomocí uskočeného podlaží. Budova tak z pohledu z ulice působí nižší a opticky nepřevyšuje ostatní zástavbu. Ke každému bytu je přidělen sklep. Sklepy jsou umístěny v podzemních podlažích, 1. NP a jeden v 2. NP. K bytu vždy náleží parkovací stání nebo garáž, zbylá parkovací stání patří ke komerčním prostorům, v podzemních podlažích je celkem 119 parkovacích stání. Podzemní podlaží jsou pro automobily přístupné z ulice po rampě, která propojuje všechny tři podzemní podlaží. Pohyb osob po výšce budovy je zajištěn výtahy a schodištěm. V 1. NP se nachází mimo bytových jednotek a sklepů, také rozsáhlé komerční prostory o celkové rozloze 390 m². Situované byty do dvora v 1. NP mají k dispozici soukromou předzahrádku. Ve dvoře je mimo předzahrádek vybudován park přístupný všem obyvatelům domu.

Obrázek 14: Vizualizace objektu - pohled ze dvora



Zdroj: Central Group, a.s., Dostupné k 20.04.2019 z: <https://www.central-group.cz/lokalita/166>

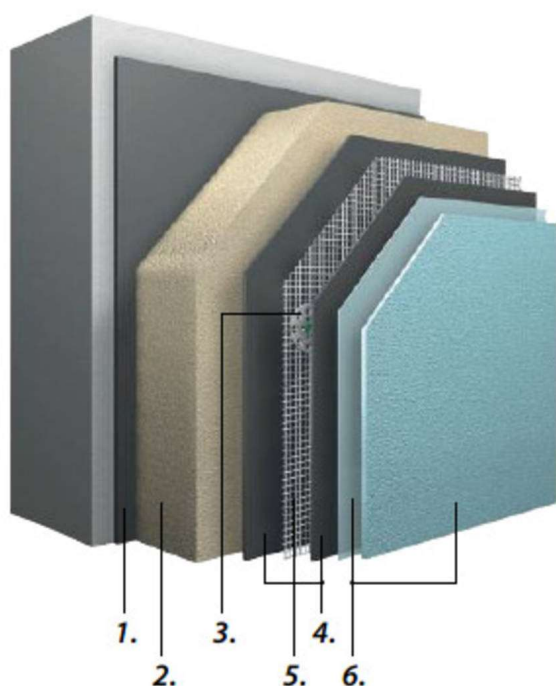
8.2 Konstrukce budovy

Objekt je rozdělen na dvě neprůchozí části tzv. severní a jižní, které jsou od sebe oddilátovány. Vodorovné nosné konstrukce jsou monolitické železobetonové, u předsazených konstrukcí jsou využity nosníky Isokorb. Svislé nosné prvky zajišťují železobetonové monolitické stěny, popřípadě sloupy a vyzdívané stěny z keramických tvarovek konkrétně firmy Porotherm. Taktéž i rozdělovací nenosné stěny jsou z tvarovek Porotherm. Dále jako obezdívky v koupelnách a WC jsou využívány pórobetonové tvárnice Ytong. Na společných chodbách ale i v částech bytů jsou využívány SDK předstěny, ať už z důvodu zvýšení zvukového odporu nebo pro vedení instalací a umístění rozvaděčů, rozdělovačů. SDK prvky jsou také využity pro podhledy, zakrývající zejména rozvody vzduchotechniky, ale i pro zvýšení kročejové neprůzvučnosti.

Objekt je založen na železobetonových tahových a tlakových pilotách. Dle výpočtu bylo vyhotoveno 16 tahových pilot o průměru 600 mm, délky 5 metrů a 9 tlakových pilot o průměru 600 mm, délky 8 metrů. Na kterých je dále uložena železobetonová monolitická základová deska. Budovu zakončuje plochá nepochozí střecha.

Opláštění budovy tvoří dva různé systémy, využití více systémů je pouze z architektonického důvodu. První fasádní provedení je tepelně izolační kotvený systém „ETICS“ weber.therm fy terranova – certifikovaný jako celek, na bázi fasádních desek minerální vlny ISOVER TF PROFI a silikátová omítkovina probarvená ve hmotě weber.pas extra clean zrnitá, velikost zrna 2,0 mm. Druhé provedení je provětrávaná fasáda, s využitím desek minerální vlny ISOVER FASSIL kotvených na stěnu a fasádních desek CEMNRIT PATINA 070 kotvený nýty do kotevního roštu v provětrávané mezeře. Tloušťka fasádních desek minerální vlny ISOVER se pohybuje od 60 mm do 180 mm. Je závislá na přiléhající nosné konstrukci, tou je železobetonová stěna či pilíř nebo vyzdřená stěna z keramických tvarovek Porotherm různých tlouštěk.

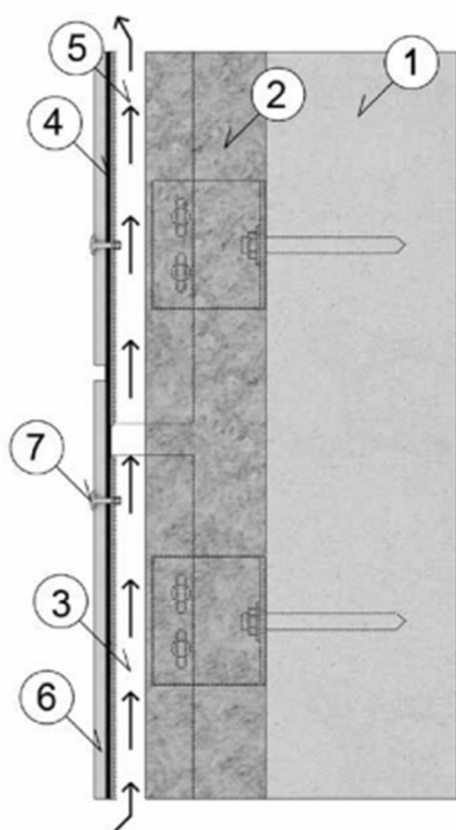
Obrázek 15: Skladba systému ETICS



1. Lepidlo
2. Tepelně izolační materiál
3. Kotvy
4. Základní nátěr
5. Výztuž, obvykle skleněná síťovina
6. Povrchová vrstva: vrchní nátěr s krycím nátěrem nebo ozdobným nátěrem
7. Příslušenství, např. hotové rohové korálky, spojovací a hranové profily, profily dilatačních spár, základní profily atd.

Zdroj: EA-ETICS, www.ea-etics.eu

Obrázek 16: Větraná fasáda s použitím desek CEMBRIT



1. Nosná stěna
2. Izolace
3. Svislý podkladní rošt
4. Podkladní páska
5. Větraná mezera 25 mm
6. Fasádní deska
7. Kotevní bod

Zdroj: Cembrit, a.s., Dostupné z: https://www.cembrit.cz/media/6652/mont%C3%A1%C5%BEn%C3%AD-n%C3%A1vod-2018_03.pdf

8.3 Okolí objektu

Budova se nachází v blízkosti stanice metra B Vysočanská a tramvajové zastávky Nádraží Vysočany a to pouhých 60 metrů. Několik minut pěšky je možné využít vlakovou stanici Praha-Vysočany. K objektu je přilehlá rušná ulice Sokolovská. Díky svému umístění je prakticky vše potřebné dostupné v docházkové vzdálenosti. Několik metrů od budovy se nachází tenisový areál, Nákupní centrum Fénix je vzdálené 600 metrů. Dvaceti minutovou procházkou podél říčky Rokytky je možné využít velký park Podviní s lanovým centrem. V bezprostřední blízkosti je několik restaurací, lékárna atd.

Obrázek 17: Mapa širších vztahů



Zdroj: Central Group, a.s., Dostupné z:

<https://www.central-group.cz/Uloziste/3e/3e84edae-f1b8-498f-bb16-5b2f5fb9cc5c.pdf>

9 Problematika hluku a vibrací působící na budovu

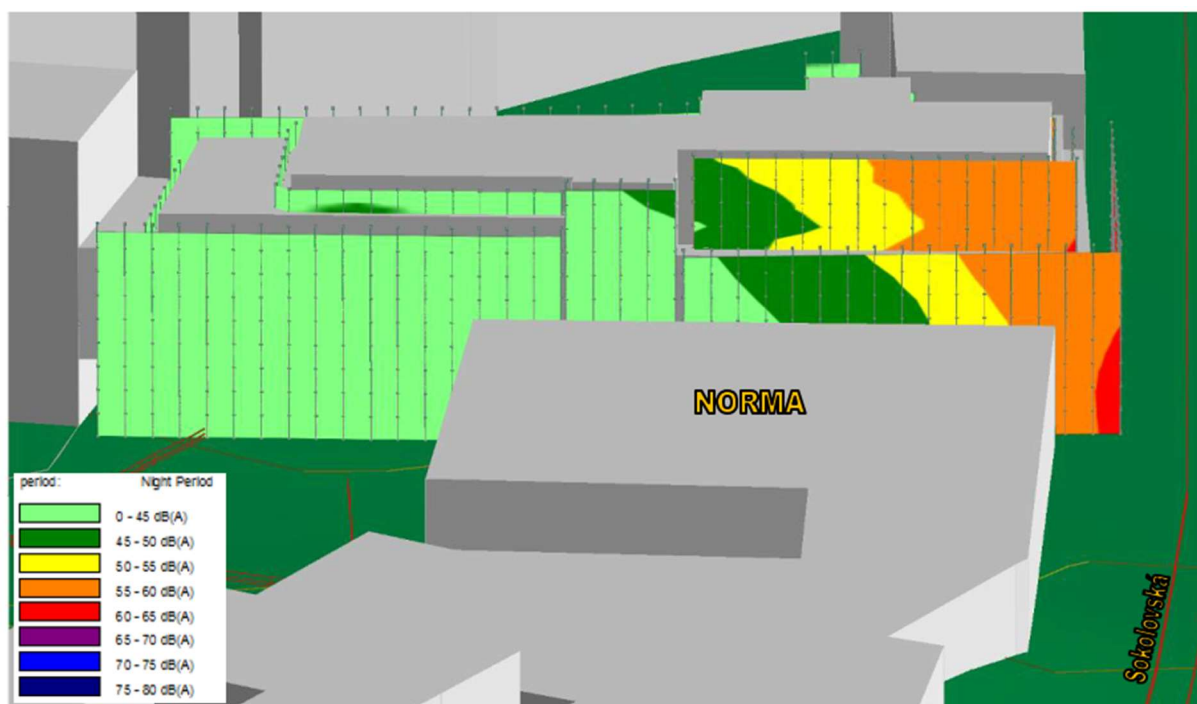
Jak již bylo výše zmíněno, budova je situována na rušné ulici, od které přichází vysoké množství hluku. Zdrojem vibrací je doprava na pozemní komunikaci, ale především na budovu působí vibrace vznikající z podpovrchového provozu metra.

9.1 Ohrožení hlukem

Před realizací projektu byla odbornou firmou vyhotovena akustická studie budoucího objektu, především na vliv hluku přicházející od dopravy, ale také od provozu parkoviště a skladu přilehlého obchodu. Podkladem akustické studie bylo měření z června 2012 realizované Ochranou životního prostředí, s.r.o., dále posudek z listopadu 2016 Ateliér ekologických modelů, s.r.o. na téma Rozpad vyvolané dopravy na stávající komunikační síti. Na následujících obrázcích č. 18 a 19 jsou graficky znázorněny hluková pásma na kritické části objektu v noční době. Za noční dobu je považován čas od 22:00 do 6:00.

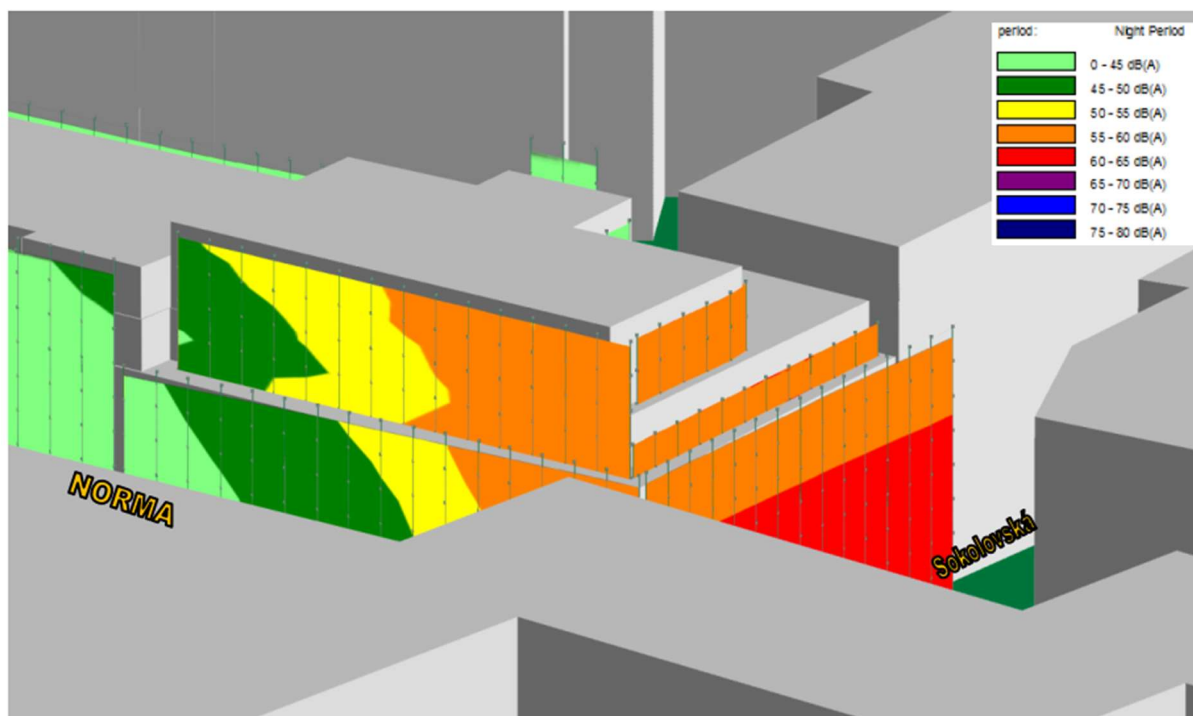
Dále na obrázcích č. 20, 21 jsou znázorněna hluková pásma v denní době na kritických částech objektu. Denní doba je od 6:00 do 22:00.

Obrázek 18: Rozložení hlukových pásem (vertikální šíření bez uvažování odrazu od fasády) na východní fasádě navrhovaného domu - noční doba



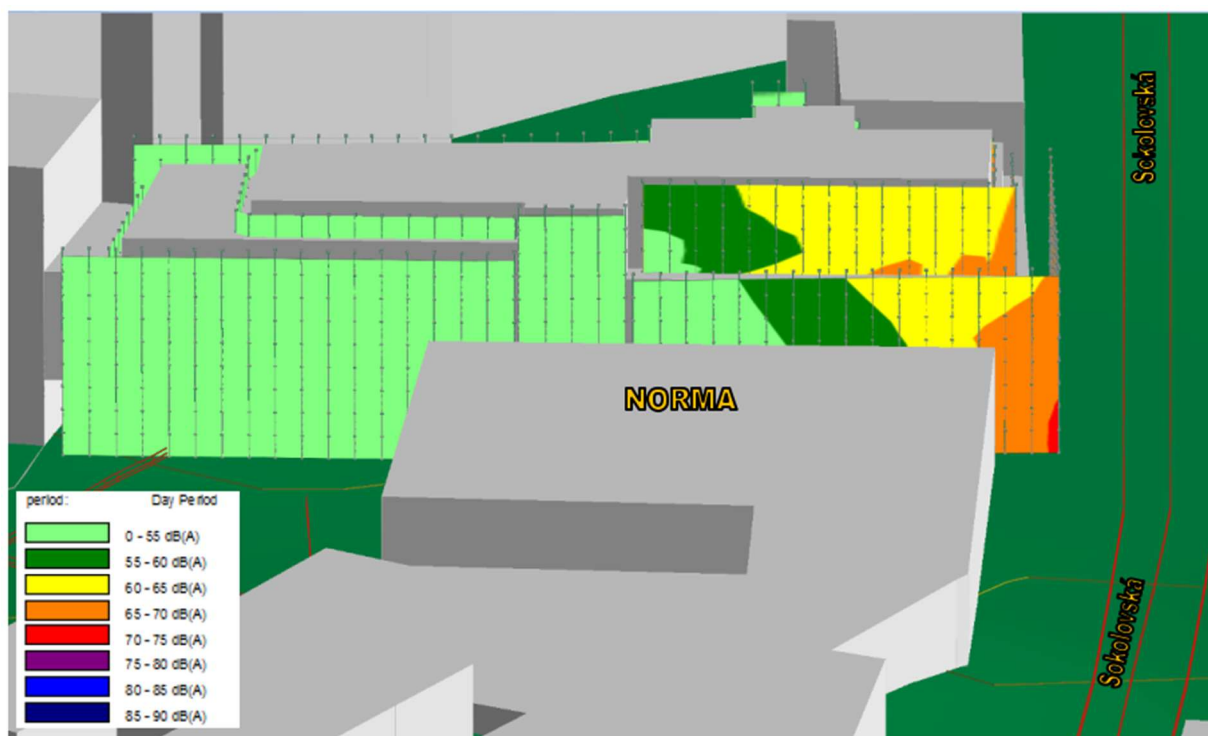
Zdroj: Projektová dokumentace stavby – Akustická studie

Obrázek 19: Rozložení hlukových pásem (vertikální šíření hluku bez uvažování odrazu od fasády) východní a severní fasádě navrhovaného domu - noční doba



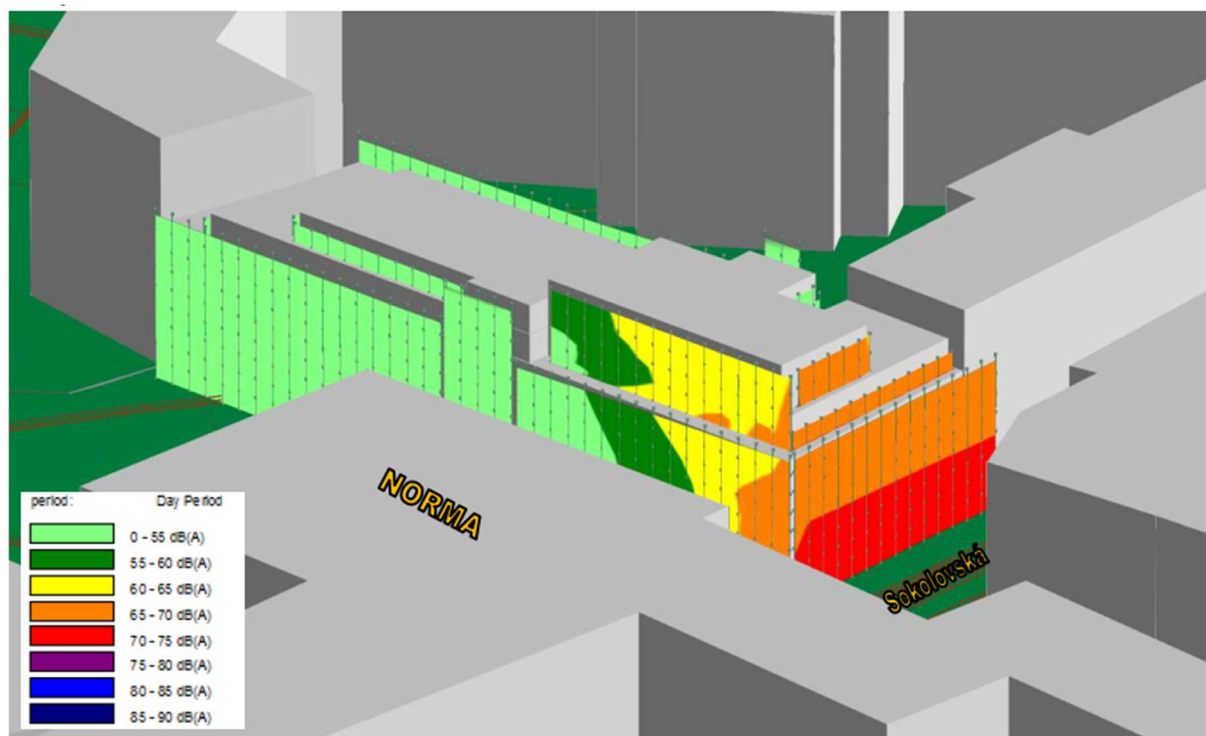
Zdroj: Projektová dokumentace stavby – Akustická studie

Obrázek 20: Rozložení hlukových pásem (vertikální šíření hluku bez uvažování odrazu od fasády) na východní fasádě navrhovaného domu - denní doba



Zdroj: Projektová dokumentace stavby – Akustická studie

Obrázek 21: Rozložení hlukových pásem (vertikální šíření hluku bez uvažování odrazu od fasády) na východní a severní fasádě navrhovaného domu - denní doba



Zdroj: Projektová dokumentace stavby – Akustická studie

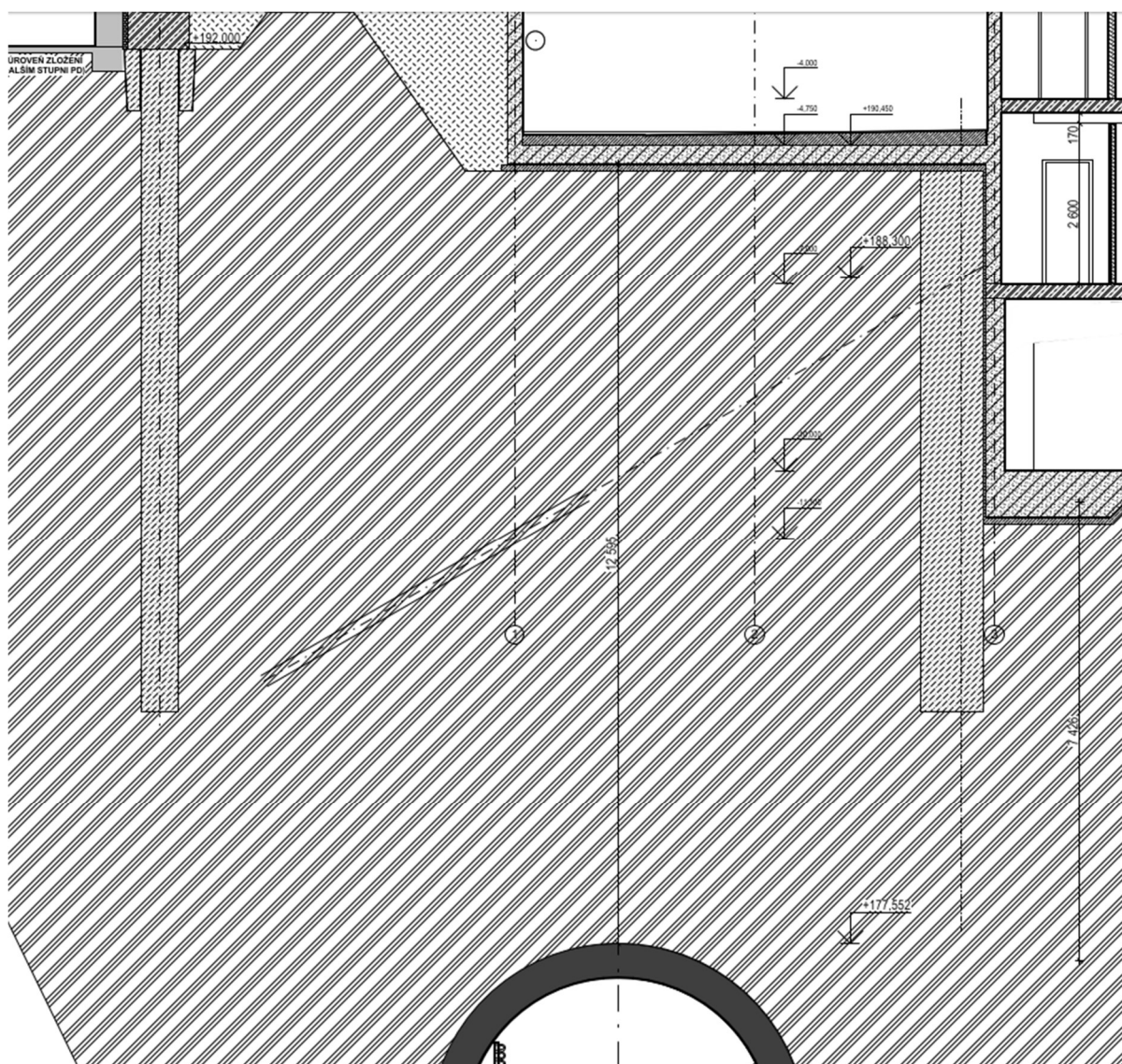
9.1.1 Závěr měření

V rámci akustické studie byla stanovena požadovaná neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí pro jednotlivé fasády, včetně doporučené vážené neprůzvučnosti výplní stavebních otvorů, které bude řešeno v následující kapitole 10. Ochrana stavby proti nepříznivým účinkům hluku a vibrací. **Bez splnění neprůzvučnosti konstrukcí, by objekt nemohl být užíván v plném rozsahu.**

9.2 Ohrožení vibracemi

Jak bylo již výše zmíněno plánovaný objekt se nachází přímo nad tubusem provozu metra. Podzemní tunel metra je v bezprostřední blízkosti založení budovy, v nejbližším místě po výšce dokonce pouhých 7,5 metrů od základové desky.

Obrázek 22: Výřez řezu - vzdálenost budovy od tunelu metra



Zdroj: Projektová dokumentace objektu

V přilehlých budovách a na místě budoucího objektu byla provedena měření vibrací odbornou firmou. Na pozemku v době měření byly připraveny zabetonované dva vrty, které byly ukončeny vodorovnou plochou pro osazení čidla snímající množství vibrací. Při měření bylo využito celkem pět měřících bodů. Jeden z měřících bodů byl umístěn v bodě připravené sondy, resp. jeden z vrtů, další čtyři měřící body byly zvoleny v suterénech stávajících

objektů, umístění měřících bodů bylo s ohledem na budoucí situování vertikálních nosných konstrukcí, aby měli co nejlepší vypovídající výsledek. Měření bez přerušování trvalo cca 22 hodin v době od 14:30 do 12:30 následujícího dne, přiléhající komunikace nebyly nijak omezeny. Na obrázku č. 23 je ukázán jeden ze čtyř měřících bodů v stávající zástavbě. Snímač vibrací musí být uchycen k ocelové desce na třech aretujících šroubech a celá tato měřící soustava uložena přímo na pevném podkladu.

Obrázek 23: Ukázka jednoho z měřících bodů v stávající zástavbě

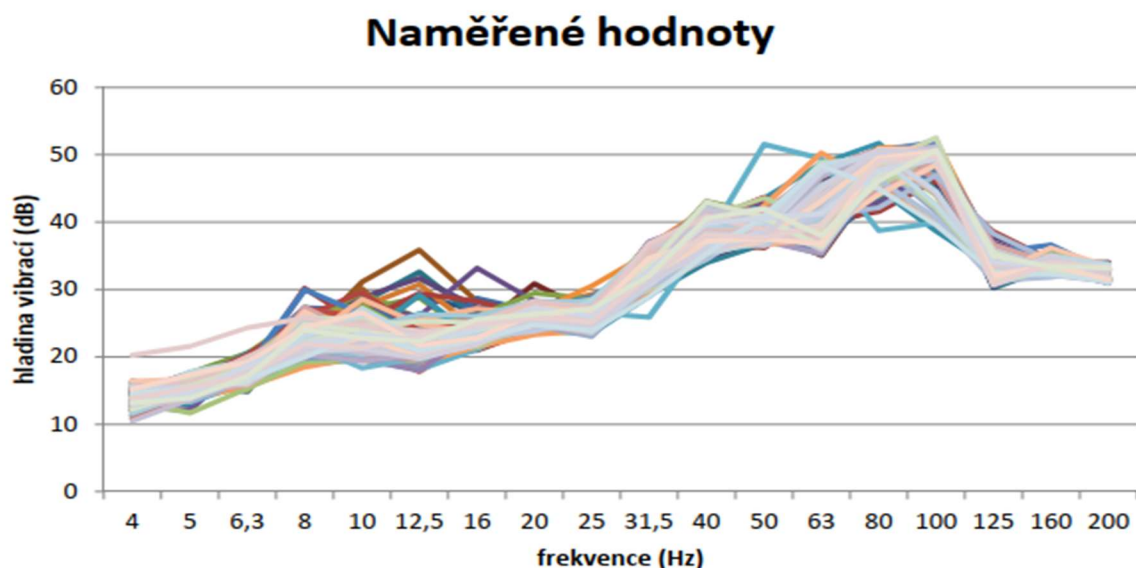


Zdroj: Projektová dokumentace stavby – záznam z měření vibrací

Předpokládané zdroje vibrací a otřesů působící v okolí budoucího objektu jsou tramvajová trať (tramvajový pás v „ulici Sokolovská“), provoz podzemní dopravy – metra (trasa B, úsek mezi stanicemi „Českomoravská“ a „Vysočanská“, trať má v půdorysném profilu mírně obloukový tvar a automobilová doprava po ulici „Sokolovská“.

Projevy projíždějící soupravy metra byly zaznamenány u všech umístěných snímačů. Naměřené hodnoty vibrací všech naměřených událostí u bodu umístěného v suterénu stávající zástavby s nejvyššími naměřenými hodnotami viz obrázek č. 24.

Obrázek 24: Naměřené hodnoty vibrací



Zdroj: Projektová dokumentace stavby – záznam z měření vibrací

Průjezd souprav tramvají byl zaznamenán a definován v bodě umístěného nejbližší „ul. Sokolovská“. Hodnoty dosahovaly obdobných hodnot jako průjezdy soupravy metra. Záznamy vibrací v měřicích bodech z provozu automobilové dopravy na přilehlé komunikaci nevykazovaly výraznější vliv na výsledné hodnoty. A proto vliv automobilové dopravy byl zanedbán.

9.2.1 Závěr měření

V rámci interpretace bylo provedeno posouzení stávajícího stavu vibrací a strukturálního hluku. Vyhodnocení měření vycházelo z hodnot naměřených v měřicích bodech s maximální hodnotou náměrů.

Na požadavky hygienické vibrace byly limity splněny, konkrétně takto:

$$a_{ew, T} = 4,12 \text{ mm/s}^2 < a_{ew, T, pož} = 5,6 \text{ mm/s}^2 \text{ resp. } L_{aw, T} = 72,3 \text{ dB} < l_{aw, T, pož} = 75 \text{ dB}.$$

Z porovnání je vidět, že naměřené hodnoty jsou nižší než požadované.

Byly i vyhodnoceny předběžné hodnoty zatížení objektu strukturálním hlukem. Hodnoty jsou nezatíženy přenosovými funkcemi na povrchu základové spáry beton-zemina, vlivem zatížení zeminy, vlivy tvarů a rozměrů nosné konstrukce, ani jinými jevy vznikajícími při výstavbě objektu. Výsledné hodnoty měření byly vypočteny z průměrných hodnot náměrů z jednotlivých bodech. $L_{Amax(metro)} = 38,7 \text{ dB}$ a $L_{Amax(tram)} = 26,3 \text{ dB}$, limit pro strukturální hluk je 30 dB . Hodnoty zapříčenené tramvajovou dopravou jsou vyhovující, však hodnoty od

provozu metra jsou vyšší než požadované. Vypočtené hodnoty strukturálního hluku byly předběžně určeny pro referenční místnost o délce 10 m a šířce 10 m. Světlá výška imaginární místnosti cca 3 m. Předpokládaná tloušťka stropní desky 250 mm. Průměrné hodnoty vycházejí z celkového počtu 57 náměrů událostí průjezdů tramvají, 64 náměrů událostí průjezdů souprav metra, zachycených v době měření. Z hlediska strukturálního hluku bude objekt bez dostatečné vibroizolace nevyhovující dle požadavků nařízení 272/2011 Sb,

10 Opatření proti vnějšmu hluku

Na základě měření byly navrženy i vnitřní dělící konstrukce objektu, a dále i hluk od vnitřních zdrojů (např. vzduchotechnika, technická zařízení), tyto konstrukce nejsou součástí návrhu a posouzení v bakalářské práci. Obsahem bakalářské práce je pouze ochrana před hlukem od vnějších zdrojů.

10.1 Požadavky na obvodové konstrukce

V rámci hlukové studie byly určeny požadavky na neprůzvučnost obvodového pláště včetně výplní otvorů. V následující tabulce a na následujících obrázcích je číselně a graficky zobrazeno rozdělení domu na jednotlivé části fasád s odlišnými požadavky. Uvedené požadavky na neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí platí pro obytné místnosti bytů. Na výplně stavebních otvorů neobytných místností bytů (např. schodišťových prostor) se normové požadavky nevztahují, je obecně doporučeno instalovat výplně přibližně shodné neprůzvučnosti jako pro obytné místnosti bytů. **Uvedené doporučené hodnoty jsou platné k roku 2016, kdy měření bylo realizováno.** Aktuální požadované hodnoty normou se mírně liší, viz kapitola 5 Limity hluku a vibrací na budovu z právního hlediska v této bakalářské práci.

Tabulka 4: Normou doporučená zvuková izolace obvodového pláště R'_w (vážená stavební neprůzvučnost) a doporučená vážená (laboratorní) neprůzvučnost oken R_w

Barva	Doporučená zvuková izolace obvodového pláště R'_w (vážená stavební průzvučnost)	Doporučená vážená (laboratorní) neprůzvučnost výplní stavebních otvorů R_w
červená	$R'_w + C_{tr} \geq 41 \text{ dB}$	46 dB**
modrá	$R'_w + C_{tr} \geq 38 \text{ dB}$	43 dB
zelená	$R'_w + C_{tr} \geq 33 \text{ dB}$	37 dB
žlutá	$R'_w + C_{tr} \geq 30 \text{ dB}$	34 dB
fialová	$R'_w \geq 30 \text{ dB}$	31 dB
černá	zasklení OPTIMI	zasklení OPTIMI

Zdroj: Projektová dokumentace stavby – Akustická studie 2016

Jelikož výrobci výplní stavebních otvorů uvádějí zpravidla váženou (laboratorní) neprůzvučnost, je doporučeno instalovat výplně, u kterých výrobce deklaruje váženou (laboratorní) neprůzvučnost uvedenou v pravé části tabulky, jelikož dochází vlivem

** $R_w = R'_w$ (41 dB, základní požadavek normy, viz tabulka 4) – C_{tr} (cca -4 dB, doporučený faktor přizpůsobení spektru) – k (cca -1 dB, vliv zabudování okna do stavebního otvoru) = 46 dB.

PŮDORYS 1.NP

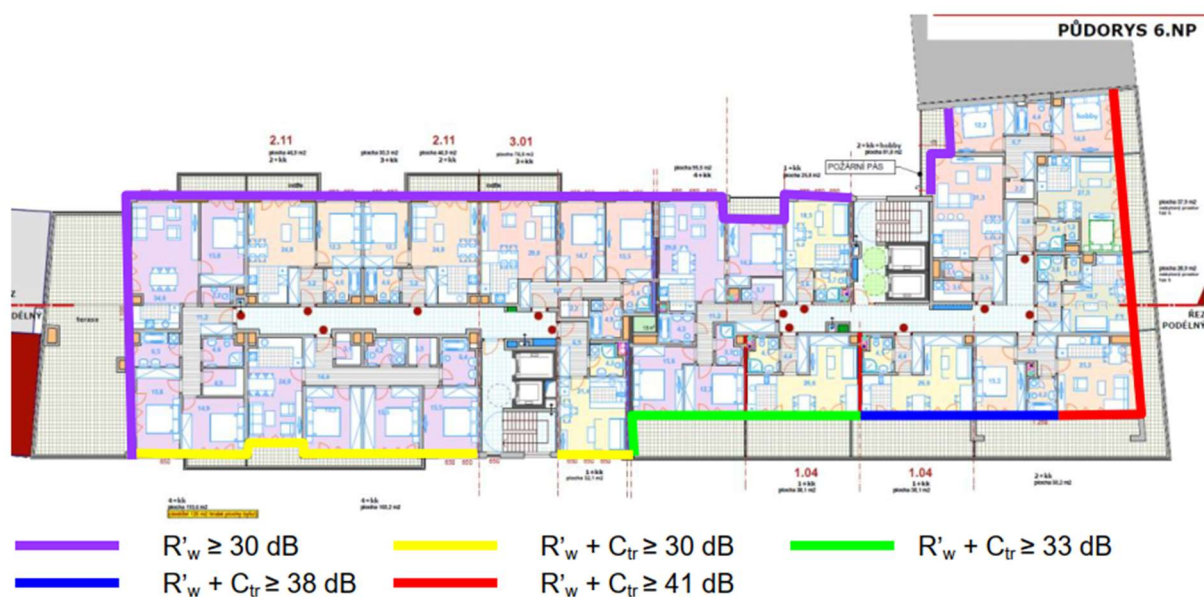
Architectural floor plan of the ground floor (PŮDORYS 1.NP) showing various rooms and areas. The plan includes a ramp (rampa do suterénu) and a parking area (VJEZD-PARKOVÁNÍ). The plan is color-coded to indicate sound insulation requirements: purple for $R'_w \geq 30 \text{ dB}$, yellow for $R'_w + C_{tr} \geq 30 \text{ dB}$, and green for $R'_w + C_{tr} \geq 33 \text{ dB}$. The plan also shows the building's footprint, surrounding areas, and a legend at the bottom.

Legend:

- $R'_w \geq 30 \text{ dB}$ (Purple)
- $R'_w + C_{tr} \geq 30 \text{ dB}$ (Yellow)
- $R'_w + C_{tr} \geq 33 \text{ dB}$ (Green)

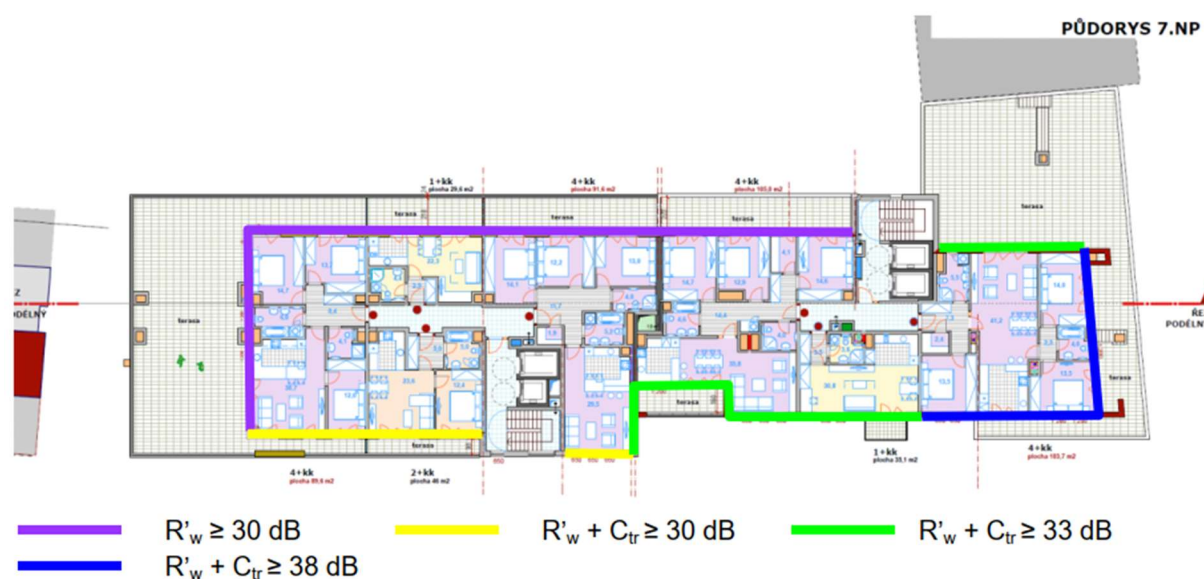
54

Obrázek 28: Požadovaná neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí pro jednotlivé fasády v 6. NP



Zdroj: Projektová dokumentace stavby – Akustická studie 2016

Obrázek 29: Požadovaná neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí pro jednotlivé fasády v 7. NP



Zdroj: Projektová dokumentace stavby – Akustická studie 2016

Při dodržení požadované vzduchové neprůzvučnosti obvodového pláště, budou splněny hygienické limity hluku v chráněných vnitřních prostorech stavby. Výše uvedené požadavky jsou minimem, co je nutné splnit. Pro zvýšení komfortu bydlení je možné použít obvodovou konstrukci s vyšší neprůzvučností.

10.2 Posouzení navržených obvodových konstrukcí

Obvodové konstrukce byly navrženy dříve v nižším stupni dokumentace. Hodnoty vážené neprůzvučnosti jsou převzaty z projektové dokumentace stavby.

10.2.1 Svislé konstrukce

Skladby obvodového pláště jsou graficky znázorněny a popsány viz v kapitole 8.2 Konstrukce budovy. Posuzovány jsou pouze skladby obvodového pláště, které jsou navrženy do částí fasády s požadavkem $R'_w + C_{tr} \geq 38$ dB nebo $R'_w + C_{tr} \geq 41$ dB.

OP1, OP2 – Obvodová stěna – keramické zdivo PTH 24 + ETICS:

Skladba:

- jádrová vápenocementová omítka + sádrový štuk (15 mm)
- zdivo POROTHERM 24 P+D (240 mm)
- tepelně izolační kotvený systém (ETICS) weber.tehrm – certifikovaný celek, na bázi fasádních desek z minerální vlny tl. 140 mm, resp. 160 mm, silikonsilikátová omítkovina probarvená ve hmotě weber.pas extra clean zrnitá, velikost zrna 2,0 mm (min.150 mm)

Váženou neprůzvučnost zdiva Porotherm 24 P+D včetně omítek tl. 15 mm (275 kg/m²) výrobce udává $R_w (C, C_{tr}) = 52 (-2, -5)$ dB. Vliv absence vápenocementové omítky z jedné strany zdiva je cca -2 dB, tepelně izolační kotvený systém (ETICS) zvýší neprůzvučnost stěny o cca $\Delta R_w (C, C_{tr}) = 5 (-1, -3)$ dB.

Vypočítaná vážená neprůzvučnost obvodové stěny s ETICS na bázi desek z minerální vlny je cca $R_w (C, C_{tr}) = 55 (-3, -8)$ dB. S uvažováním korekčního faktoru na vedlejší cesty pro těžké obvodové stěny 1 dB, je vážená stavební neprůzvučnost **cca $R'_w \geq 54$ dB**, resp. cca **$R'_w + C_{tr} \geq 48$ dB**. Nejvyšší požadavek na obvodový plášť je stanoven $R'_w + C_{tr} \geq 41$ dB. Posuzovaná stěna **vyhoví** požadavku.

OP4 – Obvodová stěna – keramické zdivo PTH 17,5 + ETICS:

Skladba:

- jádrová vápenocementová omítka + sádrový štuk (15 mm)
- zdivo POROTHERM 17,5 P+D (175 mm)
- tepelně izolační kotvený systém (ETICS) weber.tehrm – certifikovaný celek, na bázi fasádních desek z minerální vlny tl. 100 mm, silikonsilikátová omítkovina probarvená ve hmotě weber.pas extra clean zrnitá, velikost zrna 2,0 mm (min.110 mm)

Váženou neprůzvučnost zdiva Porotherm 17,5 P+D včetně omítek tl. 15 mm (275 kg/m^2) výrobce udává $R_w(C, C_{tr}) = 45 (-2, -5) \text{ dB}$. Vliv absence vápenocementové omítky z jedné strany zdiva je cca -2 dB, tepelně izolační kotvený systém (ETICS) zvýší neprůzvučnost stěny o cca $\Delta R_w(C, C_{tr}) = 5 (-1, -3) \text{ dB}$.

Vypočítaná vážená neprůzvučnost obvodové stěny s ETICS na bázi desek z minerální vlny je cca $R_w(C, C_{tr}) = 48 (-3, -8) \text{ dB}$. S uvažováním korekčního faktoru na vedlejší cesty pro těžké obvodové stěny 1 dB, je vážená stavební neprůzvučnost **cca $R'_w \geq 47 \text{ dB}$** , resp. **cca $R'_w + C_{tr} \geq 39 \text{ dB}$** . Obvodová stěna OP4 **vyhoví** maximálně požadavku na vzduchovou neprůzvučnost $R'_w + C_{tr} \geq 38 \text{ dB}$ a již **nevyhoví** požadavku $R'_w + C_{tr} \geq 41 \text{ dB}$.

OP9, OP10, OP11, OP12, OP13, OP17, OP19 – Obvodová stěna – železobeton + ETICS:

Skladba:

- jádrová vápenocementová omítka + sádrový štuk (15 mm)
- železobetonová stěna (min. 220 mm)
- tepelně izolační kotvený systém (ETICS) weber.tehrm – certifikovaný celek, na bázi fasádních desek z minerální vlny tl. 60-180 mm, silikonsilikátová omítkovina probarvená ve hmotě weber.pas extra clean zrnitá, velikost zrna 2,0 mm (min. 70 mm)

Vypočítaná neprůzvučnost železobetonové stěny tl. 220 mm je $R_w(C, C_{tr}) = 58 (-2, -7) \text{ dB}$. Tepelně izolační kotvený systém (ETICS) zvýší neprůzvučnost stěny o cca $\Delta R_w(C, C_{tr}) = 1 (-1, -3) \text{ dB}$.

Vypočítaná vážená neprůzvučnost obvodové stěny s ETICS na bázi desek z minerální vlny je tedy $R_w(C, C_{tr}) = 59 (-3, -10) \text{ dB}$. S uvažováním korekčního faktoru na vedlejší cesty pro těžké obvodové stěny 1 dB, je vážená stavební neprůzvučnost **$R'_w \geq 58 \text{ dB}$** , resp. **$R'_w + C_{tr} \geq 48 \text{ dB}$** . Nejvyšší požadavek na obvodový plášť je stanoven $R'_w + C_{tr} \geq 41 \text{ dB}$. Posuzovaná stěna **vyhoví** požadavku.

OP6 – Obvodová stěna – keramické zdivo PTH 24 + izolace + větrané fasádní obkladové desky:

Skladba:

- jádrová vápenocementová omítka + sádrový štuk (15 mm)
- zdivo POROTHERM 24 P+D (240 mm)
- desky minerální vlny Isover FASSIL 12 (120 mm)

- provětrávaná mezera + kotevní rošt (42 mm)
- fasádní desky – CEMBONIT FDA ŽULA, systémové uchycení (8 mm)

Váženou neprůzvučnost zdiva Porotherm 24 P+D včetně omítek tl. 15 mm (275 kg/m²) výrobce udává $R_w (C, C_{tr}) = 52 (-2, -5)$ dB. Vliv absence vápenocementové omítky z jedné strany zdiva je cca -2 dB.

Vypočítaná vážená neprůzvučnost obvodové stěny s větranými fasádními deskami CEMBONIT je cca $R_w (C, C_{tr}) = 57 (-2, -6)$ dB. S uvažováním korekčního faktoru na vedlejší cesty pro těžké obvodové stěny 1 dB, je vážená stavební neprůzvučnost **cca $R'_w \geq 56$ dB**, resp. **cca $R'_w + C_{tr} \geq 50$ dB**. Nejvyšší požadavek na obvodový plášť je stanoven $R'_w + C_{tr} \geq 41$ dB. Posuzovaná stěna **vyhoví** požadavku na vzduchovou neprůzvučnost.

OP8 – Obvodová stěna – keramické zdivo PTH 17,5 + izolace + větrané fasádní obkladové desky:

Skladba:

- jádrová vápenocementová omítka + sádrový štuk (15 mm)
- zdivo POROTHERM 17,5 P+D (175 mm)
- desky minerální vlny Isover FASSIL 8 (80 mm)
- provětrávaná mezera + kotevní rošt (42 mm)
- fasádní desky – CEMBONIT FDA ŽULA, systémové uchycení (8 mm)

Váženou neprůzvučnost zdiva Porotherm 17,5 P+D včetně omítek tl. 15 mm (275 kg/m²) výrobce udává $R_w (C, C_{tr}) = 45 (-2, -5)$ dB. Vliv absence vápenocementové omítky z jedné strany zdiva je cca -2 dB.

Vypočítaná vážená neprůzvučnost obvodové stěny s větranými fasádními deskami CEMBONIT je tedy cca $R_w (C, C_{tr}) = 51 (-1, -5)$ dB. S uvažováním korekčního faktoru na vedlejší cesty pro těžké obvodové stěny 1 dB, je vážená stavební neprůzvučnost **cca $R'_w \geq 50$ dB**, resp. **cca $R'_w + C_{tr} \geq 45$ dB**. Obvodová stěna OP8 **vyhoví** maximálnímu požadavku $R'_w + C_{tr} \geq 41$ dB.

OP14, OP15, OP16, OP20 – Obvodová stěna – železobeton + izolace + větrané fasádní obkladové desky:

Skladba:

- jádrová vápenocementová omítka + sádrový štuk (15 mm)

- železobetonová stěna (min. 180 mm)
- desky minerální vlny Isover FASSIL 14 (140 mm)
- provětrávaná mezera + kotevní rošt (42 mm)
- fasádní desky – CEMBONIT FDA ŽULA, systémové uchycení (8 mm)

Vypočítaná neprůzvučnost železobetonové stěny tl. 180 mm je $R_w (C, C_{tr}) = 55 (-2, -7)$ dB. Vypočítaná vážená neprůzvučnost obvodové stěny s větranými fasádními deskami CEMBONIT je tedy cca $R_w (C, C_{tr}) = 61 (-4, -10)$ dB. S uvažováním korekčního faktoru na vedlejší cesty pro těžké obvodové stěny 1 dB, je vážená stavební neprůzvučnost **cca $R'_w \geq 60$ dB**, resp. **cca $R'_w + C_{tr} \geq 50$ dB**. Nejvyšší požadavek na obvodový plášť je stanoven $R'_w + C_{tr} \geq 41$ dB. Posuzovaná stěna **vyhoví** požadavku na vzduchovou neprůzvučnost.

10.2.2 Vodorovné konstrukce

S1 – Střechy nepochozí – střecha nad 7. NP

Skladba:

- ochranný násyp – oblé prané kamenivo frakce 16/32 (50 mm)
- separační netkaná syntetická textilie 300 g/m²
- hydroizolační souvrství 2x SBS modifikovaných asfaltových pásů: ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR + GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL (5 mm)
- spádové dílce EPS 100 S STABIL ve spádu 2 % (min. 160 mm)
- parozábrana – asf. pás se skelnou tkaninou DEKGLASS G200 S40 (5 MM)
- penetrační nátěr
- železobetonová stropní deska (200 mm)

Vypočítaná neprůzvučnost železobetonové desky tl. 200 mm je $R_w (C, C_{tr}) = 57 (-2, -7)$ dB. Vypočítaná neprůzvučnost konstrukce střechy je tedy cca $R_w (C, C_{tr}) \geq 57 (-2, -7)$ dB. S uvažováním korekčního faktoru na vedlejší cesty pro těžké obvodové konstrukce 1 dB, je vážená stavební neprůzvučnost **$R'_w \geq 56$ dB**, resp. **cca $R'_w + C_{tr} \geq 49$ dB**. Nejvyšší požadavek na obvodový plášť je stanoven $R'_w + C_{tr} \geq 41$ dB. Posuzovaná konstrukce **vyhoví** požadavku na vzduchovou neprůzvučnost.

S2 – Terasy 6. NP a 7.NP, lodžie 2. NP

Skladba:

- pochozí keramická dlažba (20 mm)
- vyrovnávací plastové podložky (25 – 145 mm)
- hydroizolační souvrství 2x SBS modifikovaných asfaltových pásů: ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR + GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL (5 mm)
- spádové dílce EPS 100 S STABIL ve spádu 2 % (min. 160 mm)
- parozábrana – asf. pás se skelnou tkaninou DEKGLASS G200 S40 (5 mm)
- penetrační nátěr
- železobetonová stropní deska (200 mm)

Vypočítaná neprůzvučnost železobetonové desky tl. 200 mm je $R_w (C, C_{tr}) = 57 (-2, -7)$ dB.

Vypočítaná neprůzvučnost konstrukce střechy je tedy cca $R_w (C, C_{tr}) \geq 57 (-2, -7)$ dB.

S uvažováním korekčního faktoru na vedlejší cesty pro těžké obvodové konstrukce 1 dB, je vážená stavební neprůzvučnost $R'_w \geq 56$ dB, resp. cca $R'_w + C_{tr} \geq 49$ dB. Nejvyšší požadavek na obvodový plášť je stanoven $R'_w + C_{tr} \geq 41$ dB. Posuzovaná konstrukce **vyhoví** požadavku na vzduchovou neprůzvučnost.

10.2.3 Výplně stavebních otvorů

U výplní stavebních otvorů musí být dodržena požadovaná vážená neprůzvučnost dle tabulky č. 4. Podle rozdělení na jednotlivé části fasády budou okna zadána do výroby a následně osazena podle stavební dokumentace. U požadavku $R_w = 46$ dB budou přísnější nároky na připojovací spáru, konkrétně nesmí přesáhnout tloušťku 1 cm a pěna bude s vyššími akustickými vlastnostmi.

11 Opatření proti vlivům vibrací

Jak již bylo v práci dříve zmíněno, budovu je nutné chránit proti nadlimitnímu strukturálnímu hluku. Požadavky na pružné uložení objektu, resp. částí objektu, kde se nachází chráněné vnitřní prostory bytů, byly stanoveny na základě záznamů z měření a posudku. Protože nelze omezit vibrace v místě zdroje a zamezení šíření vibrací na cestě přenosu, by bylo velice obtížné až nemožné z důvodu blízkého založení, je nejvhodnější řešit problém nadlimitního strukturálního hluku vrstvou vibroizolace. Předpokládaný požadovaný útlum izolační vrstvy je minimálně 10 dB. Tento útlum pro dané použití a pro danou frekvenční charakteristiku je možné splnit např. pomocí materiálu Sylodyn nebo Sylomer. Obě varianty jsou běžně používaným řešením proti otřesům a strukturálnímu hluku od provozu metra.

Obrázek 30: Ukázka materiálu Sylodyn



Zdroj: Webové stránky Wibroizolacja Spółka z o.o, Dostupné z:

<https://www.wibroizolacjapolska.com/vibration-isolators-for-buildings/p103-vibro-acoustic-mat-Sylodyn/>

11.1 Návrh vibroizolace

Z důvodu lepších vlastností bude návrh sestaven z materiálu Sylodyn, který bude v tloušťce 50 mm. Tloušťka pružné vrstvy byla určena na základě dynamické odezvy konstrukce. Jednotlivé typy materiálu Sylodyn jsou stanoveny na základě mapy stálého statického zatížení. Vrstva vibroizolace bude uložena v úrovni konstrukce pod nejnižším akusticky

chráněným prostorem. Navržené vibroizolační opatření bude umístěno v rovinách mezi 1.PP a 1.NP a mezi 1.NP a 2.NP v části rampového vjezdu do podzemních podlaží. Svislé vibroizolace budou zvoleny z materiálu Sylodyn NC25 a to na základě předpokládaného návrhového zatížení ve vodorovném směru (max. 0,15 MPa).

Obrázek 31: Legenda ke kladečskému plánu

LEGENDA MATERIÁLŮ

	Sylodyn HRB HS 3000/50
	Sylodyn NF50
	Sylodyn NE50
	Sylodyn ND50
	Sylodyn NC50

Tloušťka vrstvy Sylodynu bude 50 mm. Vlastní frekvence uložení $f_r < 10$ Hz

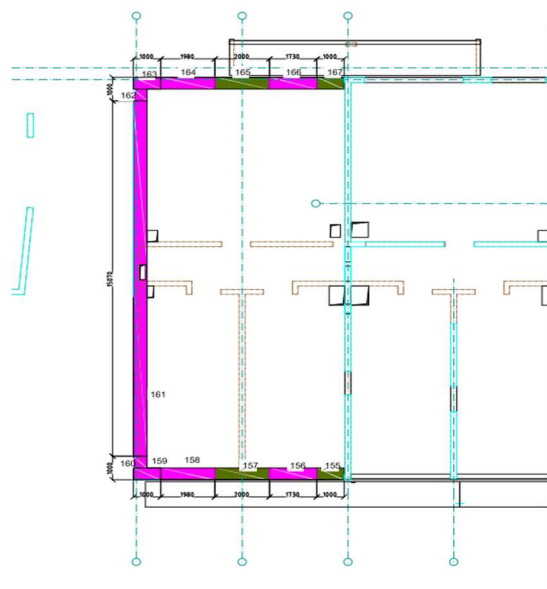
Zdroj: Projektová dokumentace stavby

Obrázek 32: Náhled kladečského plánu vodorovné vrstvy vibroizolací mezi 1.PP a 1.NP

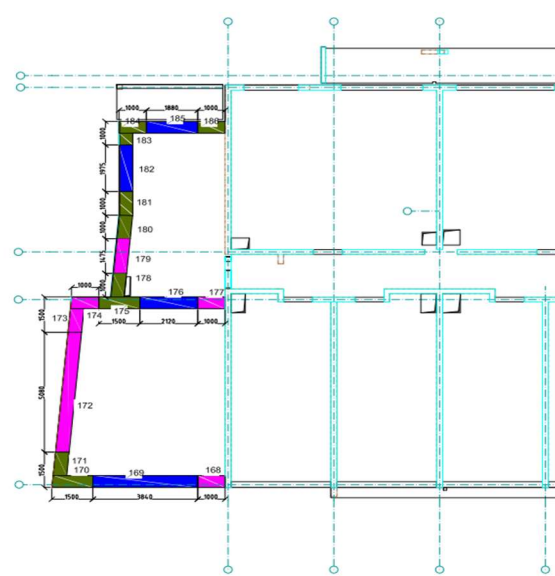


Zdroj: Projektová dokumentace stavby

Vibroizolace průjezdu - 1NP

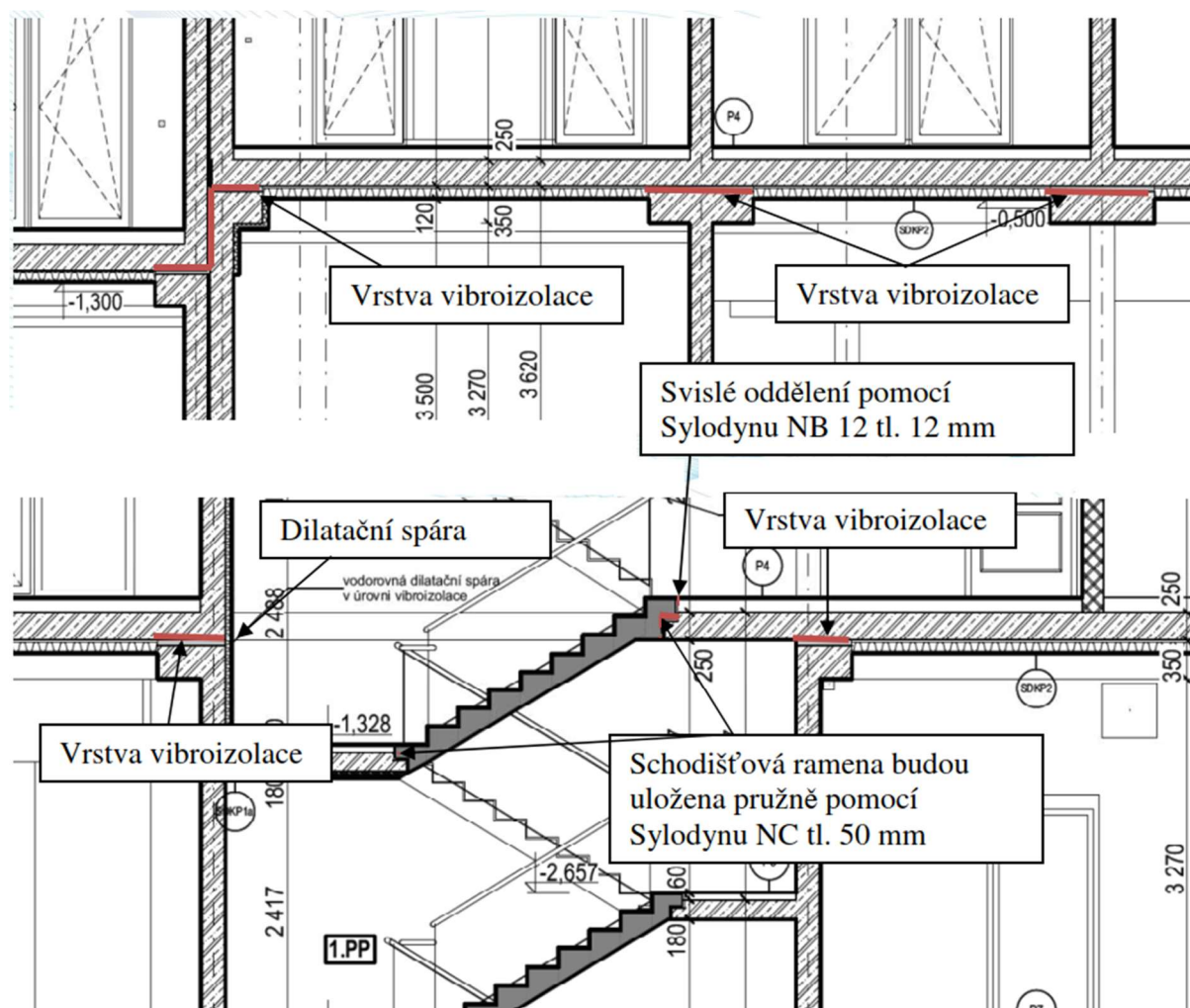


Vibroizolace průjezdu - 2NP



64

Obrázek 34: Dílčí řezy objektem

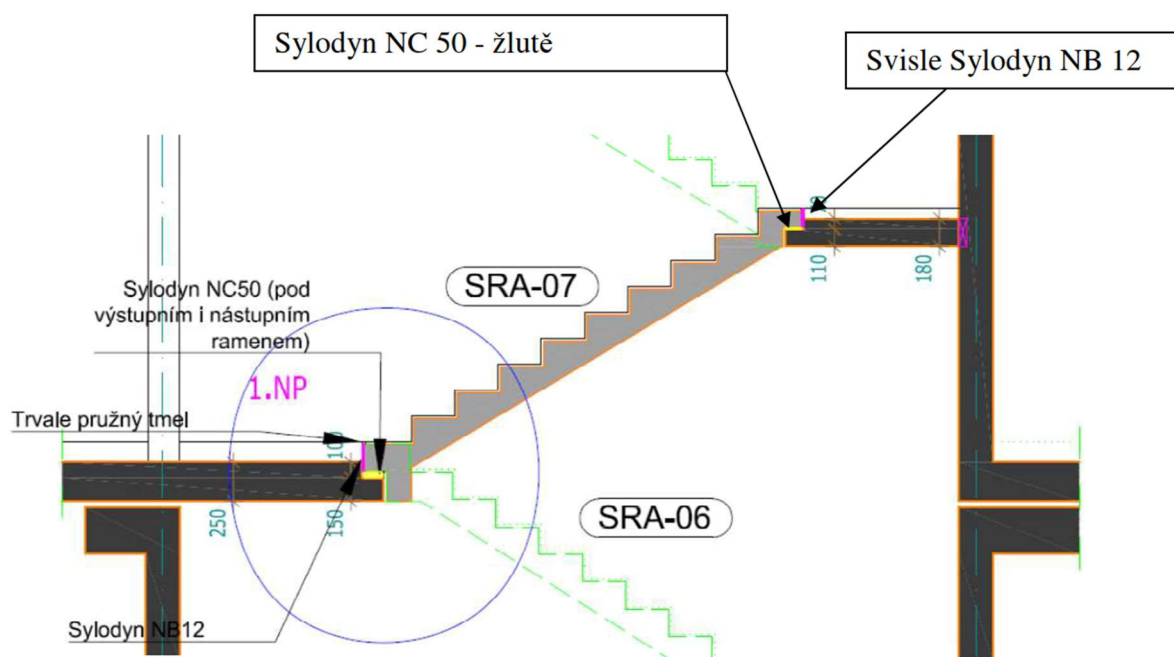


Zdroj: Projektová dokumentace stavby

11.1.1 Pružné uložení schodiště

Také bude pružně uloženo schodiště z důvodu kročejové neprůzvučnosti a přenosu strukturálního hluku. Schodišťová ramena budou uložena na podesty, resp. stropní konstrukce přes Sylodyn NC 50 tl. 50 mm. Mezi schodišťovými rameny a stěnami příp. ostatními stavebními konstrukcemi a podlahou bude provedena vzduchová mezera tl. 50 mm. Od stropní konstrukce a podlahy bude provedeno oddělení pomocí Sylodynu NB 12 po celé výšce, až po horní kótu čisté podlahy. Spára bude překrytá trvale pružným tmelem nebo pružnou lištou.

Obrázek 35: Dílčí řez uložení schodišťových ramen na vibroizolaci



Zdroj: Projektová dokumentace stavby

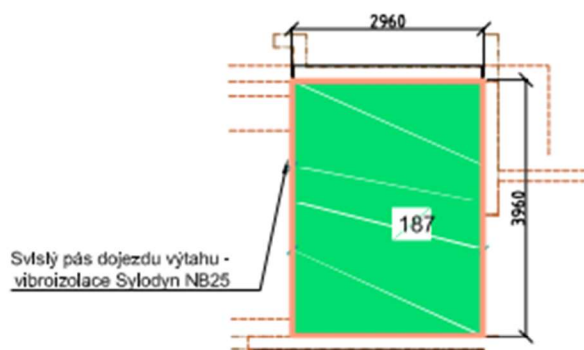
11.1.2 Pružné uložení výtahových šachet

Dále bude celá konstrukce výtahu včetně technologie pružně oddělena od okolních konstrukcí. Výtah musí být opatřen frekvenčním měničem. Výtahové šachty procházející přes rovinu vrstev vibroizolace budou pružně odděleny od všech stavebních konstrukcí, neoddělených vibroizolací v úrovni PP. Na stěny výtahové šachty nebudou ukládány stropní konstrukce. Stěny výtahových šachet budou svisle odděleny od ostatních stavebních konstrukcí 50 mm mezerou vyplněnou minerální vatou (100 kg/m^3). Svislá dilatace mezi základovými pasy bude provedena pomocí Sylodynu NB tl. 50 mm výšky 1400 mm, horní dilatace na kótě 7.NP (výška 20 m a 21,8 m) bude provedena ze Sylodynu NB tl. 50 mm, v pásu šířky 200 mm po celém obvodu. Vodorovná vibroizolace vnitřní konstrukce výtahové šachty bude provedena ze Sylodynu tl. 50 mm. Svislé izolace budou probíhat v pásech výšky 200 mm, tl. 50 mm po obvodu výtahových šachet v úrovni stropní desky pod 1.NP a v paterech výše, které budou provedeny z materiálu Sylodyn NC25.

Obrázek 36: Náhled kladečského plánu vodorovné vrstvy vibroizolace dna šachet

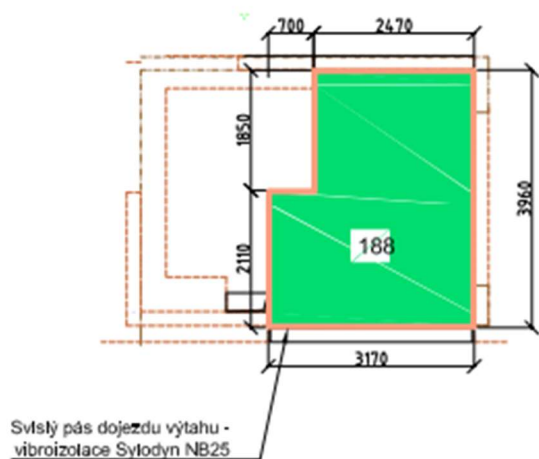
Vibroizolace - dna výtahových šachet V1, V2

Pozn.: v každém NP bude proveden na úrovni stropní konstrukce pás ze Syldynu NC25, v. pásu 200 mm, po obvodu šachty



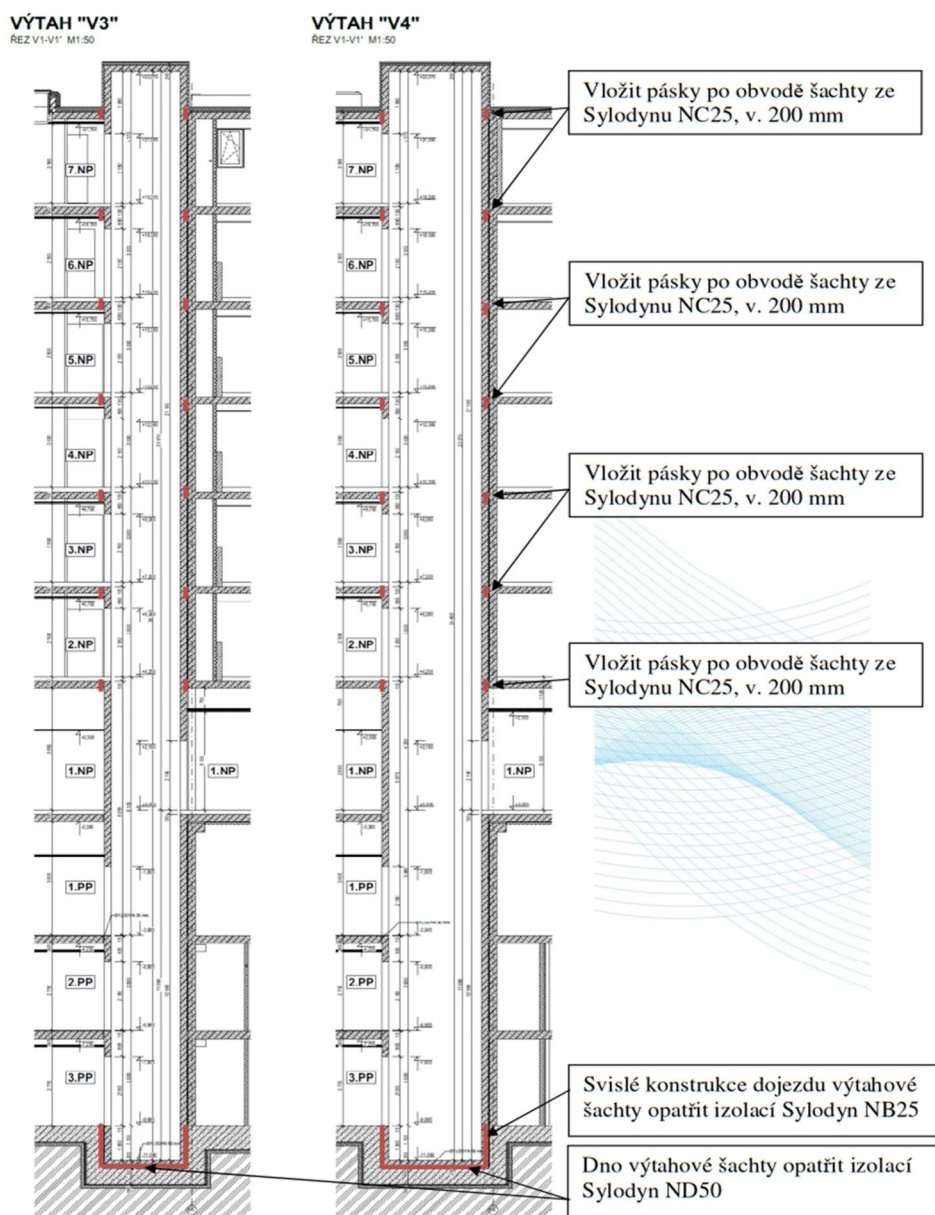
Vibroizolace - dna výtahových šachet V3, V4

Pozn.: v každém NP bude proveden na úrovni stropní konstrukce pás ze Syldynu NC25, v. pásu 200 mm, po obvodu šachty



Zdroj: Projektová dokumentace stavby

Obrázek 37: Řez výtahovou šachtou V3 a V4



Zdroj: Projektová dokumentace stavby

11.2 Zhodnocení

Doporučená teoretická vertikální vlastní frekvence celé vibroizolační vrstvy byla stanovena $f_r = 9,1$ Hz. Požadovaná frekvence je 10 Hz. Tedy vrstva **vyhovuje** požadavkům.

Každá změna v intenzitě či složení dopravy nebo změna v technickém stavu konstrukcí příslušných drah a komunikací, může mít negativní vliv na hodnoty vibrací působící na objekt a následně i strukturálního hluku.

Je nezbytné, aby veškeré detaily byly provedeny s pečlivostí, nesmí dojít ke vzniku zvukového mostu. V mezeře nesmí zůstat úlomky cihel, malty apod. z probíhajících prací.

12 Ocenění ochranných prvků

Náklady jsou uvedeny ze strany zhotovitele stavby, pouze přímé náklady bez vlivu režijních nákladů a vlivu zisku. Výše nákladů je bez DPH.

Pozn.: Náklady jsou na základě požadavku zhotovitele upraveny koeficientem.

12.1 Náklady na stavbu včetně ochranných prvků

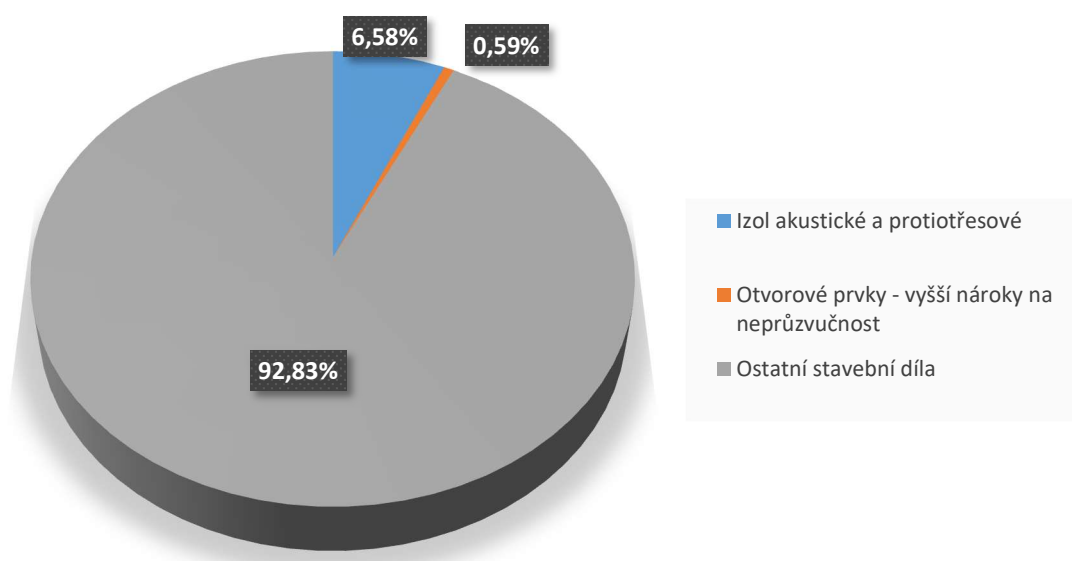
Náklady na stavbu realizované v navržené lokalitě s působícím nadměrným hlukem a vibracemi od dopravy na objekt jsou **92 821 650 Kč**, a to včetně sadových úprav a potřebného připojení na infrastrukturu a zařízení staveniště. V tabulce č.5 je vidět rekapitulace stavebních dílů stavby a jejich procentuální zastoupení v celkových nákladech na dílo. Červeně jsou zvýrazněny tři nejnákladnější díly stavby.

Tabulka 5: Rekapitulace stavebních dílu stavby, jejich procentní vyjádření

	Stavební díl	HSV	PSV	% ceny
1	Zemní práce	4 660 391 Kč		5,02%
1-1	Čerpání vody	435 514 Kč		0,47%
11	Přípravné a přidružené práce	34 783 Kč		0,04%
18-1	Sadové úpravy	196 616 Kč		0,21%
2	Základy, zvláštní zakládání	5 241 740 Kč		5,65%
22	Piloty	209 436 Kč		0,23%
3	Svislé a kompletní konstrukce	14 293 339 Kč		15,40%
4	Vodorovné konstrukce	12 190 119 Kč		13,13%
5	Komunikace	816 177 Kč		0,88%
5-1	Vodorovné dopravní značení - venkovní komunikace	496 Kč		0,00%
61	Úpravy povrchů vnitřní	2 233 898 Kč		2,41%
62	Úpravy povrchů vnější	4 592 373 Kč		4,95%
63	Podlahy a podlahové konstrukce	1 246 086 Kč		1,34%
8	Trubní vedení	95 267 Kč		0,10%
88	Potrubí z drenážek	5 535 Kč		0,01%
94	Lešení a stavební výtahy	445 714 Kč		0,48%
95	Dokončovací kce. na pozem. stav.	573 255 Kč		0,62%
95-1	Záchytný systém	31 550 Kč		0,03%
99	Staveništní přesun hmot	4 937 904 Kč		5,32%
106	Pojištění	45 767 Kč		0,05%
711	Izolace proti vodě		1 332 067 Kč	1,44%
713	Izolace tepelné		1 125 260 Kč	1,21%
714	Izol. akustické a protiotřesové		6 111 789 Kč	6,58%
721	Vnitřní kanalizace		886 686 Kč	0,96%
722	Vnitřní vodovod		1 234 957 Kč	1,33%
725	Zařizovací předměty		2 154 463 Kč	2,32%
733	Rozvod potrubí + tělesa		2 393 863 Kč	2,58%
762	Konstrukce tesařské		64 192 Kč	0,07%
764	Konstrukce klempířské		560 556 Kč	0,60%
766	Konstrukce truhlářské		3 194 396 Kč	3,44%
767	Konstrukce zámečnické		2 203 480 Kč	2,37%
769	Otvorové prvky - bez nároků na neprůzvučnost		2 660 172 Kč	2,87%
769	Otvorové prvky - vyšší nároky na neprůzvučnost		544 528 Kč	0,59%
771	Podlahy z dlaždic a obklady		1 230 241 Kč	1,33%
775	Podlahy vlysové a parketové		2 218 770 Kč	2,39%
777	Podlahy ze syntetických hmot		761 095 Kč	0,82%
781	Obklady keramické		941 125 Kč	1,01%
784	Malby		353 482 Kč	0,38%
M21	Elektromontáže		3 956 284 Kč	4,26%
M22	Montáž sdělovací a zabezp. tech.		1 733 719 Kč	1,87%
M24	Montáže vzduchotechnických zař.		2 634 441 Kč	2,84%
M33	Montáže dopravních zař. a vah		1 259 300 Kč	1,36%
	Položky potřebné k dokončení stavby neobsažené ve výkazu výměr	980 826 Kč		1,06%
	CELKEM	53 266 786 Kč	39 564 864 Kč	100,00%
	CELKEM OBJEKT	92 821 650 Kč		

Zdroj: Vlastní podle rozpočtu stavby

Graf 2: Procentuální vyjádření nákladů vybraných dílů stavby



Zdroj: Vlastní podle rozpočtu stavby

12.2 Náklady na opatření proti hluku

Aby byl objekt ochráněn z hlediska nadměrného hluku nebylo potřeba úprav obvodových konstrukcí. Tloušťka izolantu obvodových stěn by byla stejná z důvodu splnění tepelných podmínek i v lokalitě s nižší hladinou hluku stejného klimatického pásu, tedy vysoká hlučnost nemá vliv na náklady, náklad na materiál a práci bude stejný bez ohledu na umístění objektu. Především proto, že nosné konstrukce zajišťují převážnou část ochrany proti hluku, její tloušťka je navržena na základě statického návrhu bez ohledu na hladinu hluku.

U výplní stavebních otvorů bylo zapotřebí zohlednit výsledky akustické studie. U výplní s požadavkem vyšším než $R_w = 37$ dB včetně, je potřeba zasklení s vyšší neprůzvučností a tím vyšší ceny. Navíc u požadavku $R_w = 46$ dB budou přísnější nároky na připojovací spáru. Zjednodušeně lze určit rozdíly mezi náklady na zasklení takto: $R_w = 31-34$ dB je částka 3 122 Kč/m², $R_w = 37-43$ dB je 3 402 Kč/m², $R_w = 46$ dB je částka 6 212 Kč/m². Z nákladů za metr čtvereční zasklení je názorně vidět, že největší cenový rozdíl je u požadavku $R_w = 46$ dB. Podmínka $R_w = 37-43$ dB se týká 32 kusů výplní stavebního otvoru a podmínku $R_w = 46$ dB musí splnit 35 kusů z celkového počtu 291 výplní stavebních otvorů.

Tabulka 6: Výplně stavebních otvorů

769	Otvorové prvky - $R_w = 31\text{-}34$ dB, vč. přesunu hmot	2 660 172 Kč
769	Otvorové prvky - $R_w = 37\text{-}46$ dB, vč. přesunu hmot	544 528 Kč
Σ		3 204 700 Kč

Zdroj: Vlastní podle rozpočtu a projektu stavby

V tabulce č.7 jsou uvedeny náklady na otvorové prvky s vyššími požadavky na neprůzvučnost 544 528 Kč. Pokud by tyto otvory byly s maximálním požadavkem $R_w = 34$ dB, byl by náklad 341 638 Kč. Náklad na vylepšení neprůzvučnosti otvorových prvků je **202 890 Kč, resp. 37,26 %** rozdílu nákladu. Z tabulky je zjevné, že výrazný nákladový rozdíl vykazuje především zasklení s podmínkou $R_w = 46$ dB, s navýšením nákladů na zasklení o 49,74 %. Tedy v případě umístění objektu v lokalitě, která nevyžaduje vyšší požadavky na neprůzvučnost otvorových prvků byly by náklady 3 001 810 Kč (2 660 172 Kč + 341 638 Kč). A celkem náklad na celou stavbu by byl **92 618 760 Kč**, včetně sadových úprav a potřebného připojení na infrastrukturu a zařízení staveniště.

Tabulka 7: Otvorové prvky s vyššími nároky na neprůzvučnost (dle m^2 zasklení)

	Náklad			
	s požadovanou neprůzvučností	bez vyšších požadavků ($R_w \leq 34$ dB)	Rozdíl	
Výplně otvorů $R_w = 46$ dB	380 790 Kč	191 376 Kč	189 414 Kč	49,74%
Výplně otvorů $R_w = 37\text{-}43$ dB	163 739 Kč	150 262 Kč	13 476 Kč	8,23%
	544 528 Kč	341 638 Kč	202 890 Kč	37,26%

Zdroj: Vlastní podle projektové dokumentace

12.3 Náklady na opatření proti vibracím

Náklady na materiál Sylodyn a práci za uložení vibroizolací v objektu je **6 111 789 Kč**. Pokud by byl objekt umístěn v lokalitě, kde nepůsobí na objekt provoz metra byly by náklady na stavbu **86 709 862 Kč**, včetně sadových úprav a potřebného připojení na infrastrukturu a zařízení staveniště. Tedy ochrana proti vibracím způsobenými provozem metra tvoří **6,59 %**

z celkového nákladu na objekt, umístěného v plánované lokalitě a tím i třetím nejnákladnějším stavebním dílem.

Tabulka 8: Ocenění vibroizolací

Název položky	MJ	Množství	Cena / MJ	Celkem
Izol. akustické a protiotřesové				
Montáž vibroizolačních desek - PP	m2	462,18	229 Kč	105 764 Kč
Deska Sylodyn NF tl. 50 mm - PP	m2	157,58	13 435 Kč	2 116 954 Kč
Deska Sylodyn HRB HS 3000 tl. 50 mm - PP	m2	5,57	20 686 Kč	115 137 Kč
Deska Sylodyn NE tl. 50 mm - PP	m2	123,84	13 034 Kč	1 614 131 Kč
Deska Sylodyn ND tl. 50 mm - PP	m2	121,07	10 510 Kč	1 272 364 Kč
Deska Sylodyn NC tl. 50 mm - PP	m2	7,12	9 075 Kč	64 647 Kč
Deska Sylodyn NB + NC, tl. 25 mm - PP výtah pásky	m2	92,07	3 834 Kč	352 986 Kč
Deska Sylodyn NB tl. 12 mm - PP schodiště	m2	1,16	1 546 Kč	1 800 Kč
Montáž vibroizolačních desek - NP	m2	28,38	229 Kč	6 494 Kč
Deska Sylodyn NF tl. 50 mm - NP	m2	19,99	13 435 Kč	268 517 Kč
Deska Sylodyn HRB HS 3000 tl. 50 mm - NP	m2	5,83	20 686 Kč	120 598 Kč
Deska Sylodyn NE tl. 50 mm - NP	m2	5,40	13 034 Kč	70 398 Kč
Přesun hmot				2 000 Kč
714 Izol akustické a protiotřesové				6 111 789 Kč

Zdroj: Vlastní podle rozpočtu stavby

12.4 Náklad na stavbu bez ochranných prvků

V případě, že by objekt byl umístěn v lokalitě, kde na něj nepůsobí tak vysoké nepříznivé vlivy hluku a vibrací a tím odpadly náklady na ochranu objektu byly by celkové náklady na stavbu **86 506 971 Kč**, včetně sadových úprav a potřebného připojení na infrastrukturu a zařízení staveniště viz Tabulka č. 9.

Tabulka 9: Přehled stavebních děl bez ochranných prvků

	Stavební díl	HSV	PSV
1	Zemní práce	4 660 391 Kč	
1-1	Čerpání vody	435 514 Kč	
11	Přípravné a přidružené práce	34 783 Kč	
18-1	Sadové úpravy	196 616 Kč	
2	Základy, zvláštní zakládání	5 241 740 Kč	
22	Piloty	209 436 Kč	
3	Svislé a kompletní konstrukce	14 293 339 Kč	
4	Vodorovné konstrukce	12 190 119 Kč	
5	Komunikace	816 177 Kč	
5-1	Vodorovné dopravní značení - venkovní komunikace	496 Kč	
61	Úpravy povrchů vnitřní	2 233 898 Kč	
62	Úpravy povrchů vnější	4 592 373 Kč	
63	Podlahy a podlahové konstrukce	1 246 086 Kč	
8	Trubní vedení	95 267 Kč	
88	Potrubí z drenážek	5 535 Kč	
94	Lešení a stavební výtahy	445 714 Kč	
95	Dokončovací kce na pozem. stav.	573 255 Kč	
95-1	Záchytný systém	31 550 Kč	
99	Staveništní přesun hmot	4 937 904 Kč	
106	Pojištění	45 767 Kč	
711	Izolace proti vodě		1 332 067 Kč
713	Izolace tepelné		1 125 260 Kč
714	Izol. akustické a protiotřesové		- Kč
721	Vnitřní kanalizace		886 686 Kč
722	Vnitřní vodovod		1 234 957 Kč
725	Zařizovací předměty		2 154 463 Kč
733	Rozvod potrubí + tělesa		2 393 863 Kč
762	Konstrukce tesařské		64 192 Kč
764	Konstrukce klempířské		560 556 Kč
766	Konstrukce truhlářské		3 194 396 Kč
767	Konstrukce zámečnické		2 203 480 Kč
769	Otvorové prvky ($R_w \leq 34$ dB)		3 001 809 Kč
771	Podlahy z dlaždic a obklady		1 230 241 Kč
775	Podlahy vlysové a parketové		2 218 770 Kč
777	Podlahy ze syntetických hmot		761 095 Kč
781	Obklady keramické		941 125 Kč
784	Malby		353 482 Kč
M21	Elektromontáže		3 956 284 Kč
M22	Montáž sdělovací a zabezp. tech.		1 733 719 Kč
M24	Montáže vzduchotechnických zař		2 634 441 Kč
M33	Montáže dopravních zař. a vah		1 259 300 Kč
	Položky potřebné k dokončení stavby neobsažené ve výkazu výměr	980 826 Kč	
	CELKEM	53 266 786 Kč	33 240 185 Kč
	CELKEM OBJEKT	86 506 971 Kč	

Zdroj: Vlastní podle rozpočtu projektu

12.5 Zhodnocení

Podle ocenění jednotlivých opatření, je zřejmé že ochrana proti vibracím cenu zvýší výrazněji než ochrana proti hluku. Mezi náklady na stavbu umístěnou v navrhované lokalitě a náklady na stavbu, která by byla situována na místě bez nadměrných negativních vlivů hluku a vibrací je rozdíl **6 324 679 Kč, resp. 6,80 %**. V Tabulce č. 10 je shrnutí praktické části bakalářské práce, seřídění a přehled jednotlivých kombinací variant nákladů na stavbu.

Tabulka 10: Rekapitulace nákladů na stavbu

	Náklad	% z celkového nákladu
Náklad na opatření proti vibracím	6 111 789 Kč	6,58%
Náklad na opatření proti hluku	202 890 Kč	0,22%
Náklad na stavbu bez opatření proti vibracím a hluku	86 506 971 Kč	93,20%
Náklad na stavbu s opatřeními proti hluku, bez opatření proti vibracím	86 709 862 Kč	93,42%
Náklad na stavbu s opatřením proti vibracím, bez opatření proti hluku	92 618 760 Kč	99,78%
Náklad na stavbu s opatřením proti vibracím a hluku	92 821 650 Kč	100,00%

Zdroj: Vlastní

Závěr

Při zjišťování nových informací v rámci této bakalářské práce, nebyl problém dohledat všechny informace týkající se hluku. Ale dostupnost informací ohledně vibrací je velice omezená, zejména v oblasti stavebnictví, v rámci osobního hledání bylo nalezeno jen velmi skromné množství informací o této problematice.

Z informací poskytnutých touto prací je zřejmé, že ochrana stavby proti hluku není ve stavebnictvím žádná novinka a na tuto problematiku nabízí řešení mnoho firem s širokým výběrem materiálů. Zatímco ochrana stavby proti vibracím není prozatím tak rozšířené odvětví v České republice, důvodem může být, že tuto ochranu vyžaduje pouze malé procento novostaveb.

Z výsledků ocenění nákladů na opatření proti hluku a vibracím v kapitole č. 12 je evidentní, že ochrana proti vibracím je výrazně nákladnější v porovnání s ochranou proti hluku. Zejména proto, že pronikání hluku do interiéru budovy lze zamezit nejen ochrannými prvky, ale také správným umístěním a navržením objektu na parcelu, tak aby byla většina budovy nebo její obytné části kryty před vlivy hluku. S ochranou proti vibracím to není tak snadné, vibrace se šíří podloží a ohrožují stavbu přes založení stavby. V kapitole 12 v Tabulce č. 10 jsou znázorněny rozdíly nákladů při realizaci stavby s opatřením **92 821 650 Kč** a náklady na stavbu bez realizace opatření **86 506 971 Kč**, v případě že by byl objekt umístěn v jiné lokalitě, bez nepříznivých účinků hluku a vibrací, rozdíl těchto nákladů by byl **6 314 679 Kč**, resp. **6,80 %**.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vztahy nařízení vlády č. 272/2011 Sb.	23
Tabulka 2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb.....	25
Tabulka 3: Korekce na využití prostoru ve stavbách a chráněném vnitřním prostoru staveb, denní dobu a povahu vibrací	26
Tabulka 4: Normou doporučená zvuková izolace obvodového pláště R'_w (vážená stavební neprůzvučnost) a doporučená vážená (laboratorní) neprůzvučnost oken R_w	53
Tabulka 5: Rekapitulace stavebních dílů stavby, jejich procentní vyjádření	70
Tabulka 6: Výplně stavebních otvorů	72
Tabulka 7: Otvorové prvky s vyššími nároky na neprůzvučnost (dle m^2 zasklení)	72
Tabulka 8: Ocenění vibroizolací	73
Tabulka 9: Přehled stavebních dílů bez ochranných prvků.....	74
Tabulka 10: Rekapitulace nákladů na stavbu	75

Seznam grafů

Graf 1: Rozložení zdrojů zvuku z venkovního prostoru	18
Graf 2: Procentuální vyjádření nákladů vybraných dílů stavby	71

Seznam obrázků

Obrázek 1: Křivky hladin stejné hlasitosti	12
Obrázek 2: Přepočty hladin zrychlení, rychlosti a síly vibrací.....	14
Obrázek 3: Rozdělení vibrací dle časového průběhu	15
Obrázek 4: Přenášení vibrací od dopravy	20
Obrázek 5: Ukázka zdících prvků pro obvodové pláště z liaporbetonu.....	31
Obrázek 6: Ukázka vnitřního obkladu jako pasivní ochrana proti hluku.....	32
Obrázek 7: Uspořádání zástavby u komunikace s intenzivním provozem.....	33
Obrázek 8: Vedení komunikace údolím, příklady technických opatření	35
Obrázek 9: Dřevěný pohltivý panel	35
Obrázek 10: Dřevěný odrazivý panel.....	36
Obrázek 11: Opatření proti vibracím	38
Obrázek 12: Druhy uložení vibroizolací	39
Obrázek 13: Vizualizace objektu – pohled z ulice Sokolovská	41

Obrázek 14: Vizualizace objektu - pohled ze dvora.....	42
Obrázek 15: Skladba systému ETICS	44
Obrázek 16: Větraná fasáda s použitím desek CEMBRIT	44
Obrázek 17: Mapa širších vztahů	45
Obrázek 18: Rozložení hlukových pásem (vertikální šíření bez uvažování odrazu od fasády) na východní fasádě navrhovaného domu - noční doba	46
Obrázek 19: Rozložení hlukových pásem (vertikální šíření hluku bez uvažování odrazu od fasády) východní a severní fasádě navrhovaného domu - noční doba	47
Obrázek 20: Rozložení hlukových pásem (vertikální šíření hluku bez uvažování odrazu od fasády) na východní fasádě navrhovaného domu - denní doba	47
Obrázek 21: Rozložení hlukových pásem (vertikální šíření hluku bez uvažování odrazu od fasády) na východní a severní fasádě navrhovaného domu - denní doba	48
Obrázek 22: Výřez řezu - vzdálenost budovy od tunelu metra	49
Obrázek 23: Ukázka jednoho z měřicích bodů v stávající zástavbě	50
Obrázek 24: Naměřené hodnoty vibrací.....	51
Obrázek 25: Požadovaná neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí pro jednotlivé fasády v 1. NP, v komerčních prostorech je uvažované využití jako kancelář	54
Obrázek 26: Požadovaná neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí pro jednotlivé fasády v 2. NP.....	55
Obrázek 27: Požadovaná neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí pro jednotlivé fasády v 3.-5. NP	55
Obrázek 28: Požadovaná neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí pro jednotlivé fasády v 6. NP.....	56
Obrázek 29: Požadovaná neprůzvučnost obvodového pláště a jeho částí pro jednotlivé fasády v 7. NP.....	56
Obrázek 30: Ukázka materiálu Sylodyn.....	62
Obrázek 31: Legenda ke kladečskému plánu	63
Obrázek 32: Náhled kladečského plánu vodorovné vrstvy vibroizolací mezi 1.PP a 1.NP.....	63
Obrázek 33: Náhled kladečského plánu vodorovné vrstvy vibroizolací průjezdu na úrovni 1.PP - 1.NP, 1.NP - 2.NP	64
Obrázek 34: Dílčí řezy objektem	65
Obrázek 35: Dílčí řez uložení schodišťových ramen na vibroizolaci	66
Obrázek 36: Náhled kladečského plánu vodorovné vrstvy vibroizolace dna šachet	67
Obrázek 37: Řez výtahovou šachtou V3 aV4	68

Použitá literatura

Knižní zdroje

- NĚMEC, Jaroslav, Jiří RANSDORF a Milan ŠNĚDRLE, 1970. *Hluk a jeho snižování v technické praxi*. 1. Praha: SNTL.
- VAŇKOVÁ, Marie a kol, 1995. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí*. 1. Brno: PC-DIR. ISBN 80-214-0695-X.
- SMETANA, Ctirad a kol, 1998. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. 1. Praha: Sdělovací technika. ISBN 80-901-9362-5.
- BERNARD, Michal a Pavel DOUCHA, 2008. *Právní ochrana před hlukem*. 1. Praha: Linde. ISBN 978-80-7201-736-2.
- KAŇKA, Jan, 2009. *Akustika stavebních objektů*. 1. Brno: ERA. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-140-3.
- KAŇKA, Jan a Jiří NOVÁČEK, 2015. *Stavební fyzika 3: Akustika pozemních staveb*. 1. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05674-5.

Internetové zdroje

- VANDASOVÁ, Zdeňka, Zdroje hluku a jeho měření, *Státní zdravotní ústav* [online]. 2007 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdroje-hluku-a-jeho-mereni>.
- JANDÁK, Zdeněk, Vibrace přednášené na člověka, *Státní zdravotní ústav* [online]. 2007 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/vibrace-prenasene-na-cloveka>.
- MAKOVÍČKA, Daniel, Snižování přenosu vibrací od povrchové a podpovrchové dopravy základovým prostředím do budov. *Technické zařízení budov* [online]. 2006 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3182-snizovani-prenosu-vibraci-od-povrchove-a-podpovrchove-dopravy-zakladovym-prostredim-do-budov>.
- Nařízení vlády č. 272/2011, *Zákony pro lidi* [online]. 2018 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272/zneni-20181109>.

- VANDASOVÁ, Zdeňka, Zdravotní účinky hluku. *Státní zdravotnický ústav* [online]. 2014 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>.
- Předpis č. 272/2011. *Poslanecká sněmovna parlamentu České Republiky* [online]. 2011 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=272&r=2011>.
- Předpis č. 217/2016. *Poslanecká sněmovna parlamentu České Republiky* [online]. 2016 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=217&r=2016>.
- Předpis č. 241/2018. *Poslanecká sněmovna parlamentu České Republiky* [online]. 2018 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=241&r=2018>.
- PEŠTA, Jan a Viktor ZWIENER, Hlukové limity a měření hluk. *Atelier DEK* [online]. 2019 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/hlukov%C3%A9-limity-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-hluk-%E2%80%93-stav-po-1-lednu-2019-894>.
- *Central Group, a.s.* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.central-group.cz/lokalita/166>.
- *European Association for ETICS* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.ea-etics.eu/etics/about-etics/>.
- *Cembrit, a.s.* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://www.cembrit.cz/media/6652/mont%C3%A1%C5%BEn%C3%AD-n%C3%A1vod-2018_03.pdf.
- CODEXIS, *Atlas consulting spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://app.codexis.cz>.
- *Wibroizolacja Spółka z o.o.* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.wibroizolacjapolska.com/vibration-isolators-for-buildings/p103-vibro-acoustic-mat-Sylodyn/>.
- *LAND Co. Zlín s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://landco.cz/>.
- *Studio D – akustika s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.sylomer-sylodyn.cz/downloads/>.
- *Liapor Vintřov, LSM k.s.* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.liapor.cz/produkty/zdivo/nosne-steny/>.

- *Abizol corporation s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: :
<https://www.akusticka-pena.cz/novinky/odhlucneni-steny-v-praxi/>.

Ostatní zdroje

- *Metrostav, a.s.*, projektová prováděcí dokumentace objektu. 2016.
- *Metrostav, a.s.*, vnitropodnikové rozpočty stavby. 2017.